

Narodowy Instytut Geriatrii, Reumatologii i Rehabilitacji

im. prof. dr hab. med. Eleonory Reicher



Mgr Daniel Szewczyk

Zaburzenia mechaniki oddychania oraz metody terapii tych
dysfunkcji u pacjentów z zeszywniającym zapaleniem
stawów kręgosłupa

Rozprawa na stopień doktora nauk medycznych w dyscyplinie nauki medyczne

Promotor: prof. dr hab. n. med. Beata Tarnacka

Promotor pomocniczy: dr n. o zdr. Teresa Sadura-Sieklucka

Warszawa 2025

*Pragnę złożyć szczególne podziękowania Pani Promotor
– prof. dr hab. n. med. Beacie Tarnackiej – za nadzór merytoryczny oraz okazane wsparcie
i cierpliwość w trakcie powstawania tej pracy.*

*Dziękuję także Pani Promotor pomocniczej – dr n. o zdr. Teresie Sadurze-Siekluckiej –
za wprowadzenie mnie w tajniki badań naukowych i za to, że pod jej opieką stawiałem
pierwsze kroki w tej dziedzinie, jak również za ogromny wkład w powstawanie tej pracy.*

*Chcę też podziękować narzeczonej za cierpliwość i wyrozumiałość,
jakimi mnie obdarzyła w trakcie powstawania tej pracy.*

Spis treści

Wykaz stosowanych skrótów	5
WYKAZ PUBLIKACJI STANOWIĄCYCH PRACĘ DOKTORSKĄ:	6
Streszczenie w języku polskim	7
Wstęp	7
Cel pracy.....	7
Materiał i metoda.....	7
Wyniki	7
Wnioski.....	8
Summary	10
1. Wstęp	13
2. Biomechanika oddychania	16
2.1 Spokojny oddech	17
2.2 Natężony oddech	17
3. Zaburzenia oddechowe w ZZSK.....	19
4. Narzędzia do oceny mechaniki oddychania.....	21
4.1 RMMI – Respiratory Movement Measuring Instrument.....	21
4.2 Pletyzmografia optoelektroniczna	22
4.3 Ultrasonografia	25
4.4 Kamery na podczerwień	26
4.5 System ELITE	26
4.6 Tomografia komputerowa	27
4.7 4DBODY	28
4.8 Pletyzmografia.....	30
5. Zależności między funkcją narządu ruchu a funkcjami oddechowymi	33
6. Metody fizjoterapii.....	37
6.1 Ćwiczenia oddechowe oraz wydolnościowe	37
6.2 Kinezyterapia.....	38
6.3 Inne metody terapeutyczne	38
6.4 Terapia manualna	38
7. Wpływ rehabilitacji na funkcje oddechowe pacjenta	40
8. Cel pracy	41

9.	Materiał i metoda	43
10.	Główne wyniki pracy	45
11.	Dyskusja	48
12.	Wnioski	55
13.	Połączenie pracy w całość	56
14.	Piśmiennictwo	57
KOPIE PUBLIKOWANYCH PRAC STANOWIĄCYCH PRACĘ DOKTORSKĄ		70

Wykaz stosowanych skrótów

ZZSK – zeszywniające zapalenie stawów kręgosłupa

POChP – przewlekła obturacyjna choroba płuc

Nm – nanometr

mm – milimetr

cm – centymetr

TLC – całkowita pojemność płuc (*total lung capacity*)

VC – pojemność życiowa płuc (*vital capacity*)

RV – objętość zalegająca (*residual volume*)

sRAW – opór dróg oddechowych (*airway resistance RAW*)

FRC – czynnościowa pojemność zalegająca (*functional residual capacity*)

ERV – objętość zapasowa wydechowa (*expiratory reserve volume*)

VCin – wdechowa objętość życiowa (*inspiratory vital capacity*)

MIP – maksymalne ciśnienie wdechowe (*maximal inspiratory pressure*)

MEP – maksymalne ciśnienie wydechowe (*maximal expiratory pressure*)

FEV1 (*forced expiratory volume in 1 second*)

FVC (*forced vital capacity*)

C – odcinek szyjny kręgosłupa (*cervical spine*)

TH – odcinek piersiowy kręgosłupa (*thoracic spine*)

LS – odcinek lędźwiowy kręgosłupa (*lumbar spine*)

BASDAI – *Bath AS disease Activity Index*

BASFI – *Bath AS Functional Index*

PDI – *Pain Disability Index*

VAS – *Visual Analogue Scale*

LED – *light-emitting diode*

RMMI – *Respiratory Movement Measuring Instrument*

KGP – kończyna górna prawa

KGL – kończyna górna lewa

WYKAZ PUBLIKACJI STANOWIĄCYCH PRACĘ DOKTORSKĄ:

1) Sadura-Sieklucka T., Szewczyk D., Liberadzki P., Paśko S., Wojdasiewicz P., Targowski T., *The 4DBODY system as a new tool for chest mobility assessment in patients with ankylosing spondylitis*. „Reumatologia”, 2023; nr 61: s. 353–359. doi:10.5114/reum/173022

Impact factor: 1,2

MNiSW: 100

2) Szewczyk, D., Sadura-Sieklucka, T., Tarnacka, B.. et al., *Is there a connection between spine alignment, chest mobility, shoulder joint and respiratory parameters of patients with ankylosing spondylitis?*, Rheumatol Int, nr 44, s. 1481–1486 (2024).
<https://doi.org/10.1007/s00296-024-05642-0>

Impact factor: 3,2

MNiSW: 70pkt

3) Szewczyk D., Sadura-Sieklucka T., Tarnacka B., Targowski T., *Influence of Manual Therapy and Stretching Exercises on Mobility Status and Pulmonary Function Tests Among Patients with Ankylosing Spondylitis*, Med Rehabil., (2023); nr 27(3): s. 60-65.
<https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.0124>.

Impact factor: 0

MNiSW: 140pkt

Łącznie:

Impact factor: 4,4

MNiSW: 310

Streszczenie w języku polskim

Wstęp

Zesztywniające zapalenie stawów kręgosłupa (ZZSK) to choroba autoimmunologiczna, która zajmuje cały narząd ruchu, w znaczący sposób upośledzając jego funkcje zarówno ruchowe, jak i oddechowe. Oddychanie to skomplikowany proces biomechaniczny, w który zaangażowanych jest wiele elementów ciała, w tym obszar klatki piersiowej (obręcz kończyny górnej, żebra, mostek, kręgosłup w odcinku piersiowym). W wyniku występującej w ZZSK sztywności oraz ograniczenia ruchomości wyżej wymienionych elementów dochodzi do zaburzenia mechaniki oddychania, co powoduje upośledzenie funkcjonalnych parametrów oddechowych oraz występowanie nieprawidłowych wzorców oddechowych.

Cel pracy

Celem pracy było zdefiniowanie problemów oddechowych występujących u pacjentów z ZZSK, określenie obszarów mających największy wpływ na zaburzenia mechaniki oddychania oraz poszukiwanie skutecznych metod usprawniania tych dysfunkcji.

Materiał i metoda

Do oceny zaburzeń oddechowych i określenia obszarów dysfunkcyjnych wykorzystano technologię 4DBODY, a dzięki uzyskanym danym możliwe było ułożenie programu usprawniania dla pacjentów z ZZSK. Następnie przeprowadzono usprawnianie u 45 pacjentów chorujących na zesztywniające zapalenie stawów kręgosłupa i oceniono skuteczność proponowanej fizjoterapii. U 25 uczestników zastosowano autorski program terapii, natomiast 20 poddano klasycznemu usprawnianiu rekomendowanemu w ZZSK.

Wyniki

Wykorzystując technologię 4DBODY, zidentyfikowano problemy oddechowe u pacjentów z ZZSK. Wykazano również skuteczność przeprowadzonego usprawniania poprzez zmiany parametrów czasowo-przestrzennych klatki piersiowej przy wykorzystaniu tej samej technologii. Stwierdzono zwiększenie rozszerzalności klatki piersiowej z 18 mm do 27,9 mm (o 9,9 mm). Następnie przebadano 45 pacjentów z ZZSK i zaobserwowano szereg korelacji

między parametrami oddechowymi oraz funkcjonalnymi (odległość potylicy od ściany, rozszerzalność klatki piersiowej, ustawienie kręgosłupa piersiowego, ruchomość kończyn górnych). Liczne parametry funkcjonalne ujemnie korelowały z wiekiem pacjenta oraz czasem trwania choroby, co potwierdza postępujący charakter schorzenia. Korelacje między parametrami oddechowymi oraz funkcjonalnymi potwierdzają mechaniczne aspekty dysfunkcji oddechowych. Usprawnianie skoncentrowane na poprawie mechaniki oddychania wykazało największą zależność w stosunku do parametrów siły mięśni oddechowych MIP (*maximal inspiratory pressure*), MEP (*maximal expiratory pressure*), parametrów TLC (*total lung capacity*) oraz VC (*vital capacity*). Terapia manualna okazała się bardzo skuteczną formą usprawniania pacjenta z ZZSK. Praca skoncentrowana na obszarze klatki piersiowej wpłynęła na zmniejszenie odległości potylicy od ściany w teście potylicy-ściana z 9,5 cm do 7,8 cm (o 1,7 cm). Rozszerzalność klatki piersiowej zwiększyła się z 3,7 cm do 6 cm (o 2,3 cm) w górnym jej obszarze oraz z 4,7 cm do 6,9 cm (o 2,2 cm) w obszarze dolnym. Poprawa ruchomości w obrębie klatki piersiowej wpłynęła na zwiększenie zakresu ruchu kończyny górnej. Zgięcie w stawie ramiennie-łopatkowym zwiększyło się ze 147° do 159,7° (o 12,7°) w kończynie górnej prawej (KGP) oraz ze 143° do 155,7° (o 12,7°) w kończynie górnej lewej (KGL), zaś ruch odwodzenia zwiększył się ze 144,2° do 159,2° (o 15°) (KGP) oraz ze 138,8° do 154,8° (o 16°) (KGL). Subiektywna ocena stanu funkcjonalnego wyrażona kwestionariuszami BASDAI (*Bath AS disease Activity Index*), BASFI (*Bath AS Functional Index*) oraz PDI (*Pain Disability Index*) wykazała znaczną poprawę stanu funkcjonalnego pacjenta. Kwestionariusz BASDAI – wartości zmniejszyły się z 3,53 do 2,28 (o 1,25 pkt), kwestionariusz BASFI – wynik zmniejszył się z 3,42 do 0,80 (o 2,62 pkt), kwestionariusz PDI – wynik zmniejszył się z 2,82 do 1,87 (o 0,95 pkt). Wartość natężenia bólu wyrażona na podstawie skali VAS (*Visual Analogue Scale*) wykazała znaczne obniżenie poziomu – z 3,76 do 2,08 (o 1,68 pkt). Zaobserwowano zwiększenie siły mięśni oddechowych MIP z 82% do 100% (o 18 p.p.), MEP z 85% do 99% (o 14 p.p.). Różnice w pozostałych parametrach oddechowych okazały się nieistotne statystycznie.

Wnioski

Obszar klatki piersiowej jest niezwykle ważny z punktu widzenia usprawniania pacjentów chorujących na ZZSK. Koreluje on z wieloma dysfunkcjami ruchowymi oraz oddechowymi. Technologia 4DBODY okazała się skutecznym narzędziem diagnostycznym w badaniu

zaburzeń mechanicznych klatki piersiowej i może być wykorzystywana także do monitorowania postępów usprawniania pacjentów w tym zakresie. Dzięki wizualizacji klatki piersiowej udało się określić zaburzenia oddechowe jako mechaniczne. Obszarem najbardziej zaangażowanym w ten problem okazał się obszar klatki piersiowej oraz kręgosłupa piersiowego. Pacjenci z ZZSK wykazali znacznie niższe parametry oddechowe w stosunku do zdrowej populacji (TLC, sRaw, VC, FVC, MIP, MEP), jak również niższe parametry funkcjonalne (ruchomość kończyn górnych, rozszerzalność klatki piersiowej, ustawienie kręgosłupa, test potylicy-ściana). Terapia manualna okazała się bardzo skuteczną formą służącą poprawie parametrów funkcjonalnych pacjentów z ZZSK, a także znacznej poprawie siły mięśni oddechowych, natomiast jej wpływ na poprawę parametrów oddechowych ujawnił się jako niewielki.

Summary

Summary in English

Introduction:

Ankylosing spondylitis (AS) is an autoimmune disease which affects the entire locomotor system, significantly impairing both its motor and respiratory functions. Respiration is a complex biomechanical process involving numerous body elements, including the chest area (the shoulder girdle, ribs, sternum, thoracic spine). As a result of AS-related stiffness and the limitation of the mobility of the above-mentioned elements, the mechanics of breathing is disturbed. It contributes to the impairment of functional respiratory parameters and the occurrence of abnormal respiratory patterns.

The aim:

The research aimed to define breathing problems occurring in patients with AS. Moreover, the author aimed at determining the areas that have the greatest impact on the disruption of respiratory mechanics and searching for effective methods of improving those dysfunctions.

Material and method:

The 4DBODY technology was used to assess respiratory mechanics disorders and determine the most dysfunctional areas and the obtained data was used to design rehabilitation program for patients with AS. Subsequently, rehabilitation was carried out in 45 patients suffering from ankylosing spondylitis and the effectiveness of the physiotherapeutic management was assessed. The author's own therapy program was implemented in 25 participants. The remaining 20 patients underwent the classic rehabilitation procedure recommended in AS.

Results:

The 4DBODY technology was used to identify respiratory problems in AS patients. The effectiveness of the rehabilitation was also demonstrated by changing the spatiotemporal parameters of the chest using the same technology. Chest expansion increased from 18 mm to 27.9 mm (9.9 mm). Subsequently, 45 patients with AS were examined and numerous correlations were observed between respiratory and functional parameters (occiput-to-wall

distance, chest expansion, orientation of the thoracic spine, mobility of the upper limbs). Numerous functional parameters were negatively correlated with the age of the patient and the duration of the disease, which confirmed the progressive nature of the disease. Correlations between respiratory and functional parameters confirmed the mechanical aspects of respiratory dysfunctions. Rehabilitation focused on improving respiratory mechanics showed the greatest dependence on respiratory muscle strength parameters (MIP (*maximal inspiratory pressure*), MEP (*maximal expiratory pressure*), and TLC (*total lung capacity*) and VC (*vital capacity*). Manual therapy proved to be a very effective form of rehabilitating patients with AS. When focusing on the chest area, the distance between the occiput and the wall in the occiput-to-wall test was reduced from 9.5 cm to 7.8 cm (improvement by 1.7 cm). Chest expansion increased from 3.7 cm to 6 cm (improvement by 2.3 cm) in its upper area and from 4.7 cm to 6.9 cm (improvement by 2.2 cm) in its lower area. Mobility improvement within the chest contributed to the increase in the range of motion in the upper limb. Glenohumeral flexion increased from 147° to 159.7° (increase by 12.7°) in the right upper limb (RUL) and from 143° to 155.7° (increase by 12.7°) in the left upper limb (LUL). Abduction range increased from 144.2° to 159.2° (increase by 15°) (RUL) and from 138.8° to 154.8° (increase by 16°) (LUL). Subjective assessment of the functional status performed with the use of the BASDAI (*the Bath AS Disease Activity Index*), BASFI (*the Bath AS Functional Index*), and PDI (*the Pain Disability Index*) questionnaires showed a significant improvement in the patients' functional status. The BASDAI scores decreased from 3.53 to 2.28 (improvement by 1.25 points). The BASFI questionnaire results decreased from 3.42 to 0.80 (improvement by 2.62 points). The PDI scores decreased from 2.82 to 1.87 (improvement by 0.95). Pain levels assessed with the VAS (*Visual Analogue Scale*) were characterized by a significant decrease from 3.76 to 2.08 (an improvement by 1.68 points). Respiratory muscle strength (MIP) increased from 82% to 100% (improvement by 18 percentage points), and MEP increased from 85% to 99% (improvement by 14 percentage points). Differences in the remaining respiratory parameters turned out to be statistically insignificant.

Conclusions:

The chest area is extremely important from the viewpoint of rehabilitating patients suffering from AS. It is correlated with numerous locomotor and respiratory dysfunctions. The 4DBODY technology proved to be an effective diagnostic tool in the assessment of

the mechanical disorders of the chest. It may also be used to monitor the progress in the rehabilitation of patients at this level. Thanks to the visualization of the chest, it was possible to identify respiratory disorders as mechanical ones. The chest and thoracic spine appeared to be the most involved areas. Patients with AS were characterized by significantly lower respiratory parameters compared to the healthy population (TLC, SRaw, VC, FVC, MIP, MEP), and lower functional parameters (upper limb mobility, chest expansion, spinal orientation, occiput-to-wall test). Manual therapy proved to be very effective in improving the functional parameters in AS patients. Additionally, it significantly improved the strength of the respiratory muscles. However, its impact on improving respiratory parameters appeared to be low.

1. Wstęp

Zesztywniające zapalenie stawów kręgosłupa (ZZSK) to choroba autoimmunologiczna z grupy spondyloartropatii. Wyróżniamy dwie główne postaci ZZSK: osiową, obejmującą przede wszystkim kręgosłup, ale również duże stawy obwodowe obręczy biodrowej oraz obręczy kończyny górnej (staw ramiennie-łopatkowy oraz staw biodrowy), a także obwodową, która obejmuje też pozostałe stawy kończyny górnej oraz dolnej [1, 2]. W literaturze znajdujemy również postać skandynawską, czyli odmianę postaci obwodowej, w której zajęte są drobne stawy rąk oraz stóp (czego nie spotykamy w klasycznej postaci obwodowej) [3]. Etiologia choroby nie jest do końca poznana i pojawia się wiele teorii na jej temat. Istotny wydaje się czynnik genetyczny oraz powiązanie pomiędzy ZZSK a częsteczką MHC klasy I HLA-B27, która występuje u 90-95% chorych, a u osób zdrowych w bardzo dużym stopniu zwiększa ryzyko zachorowania [1, 6]. Choroba ta dotyka częściej mężczyzn niż kobiety, w stosunku 3:1 [4], rozpoczyna się najczęściej około 25.-28. roku życia. Szacuje się, że u około 80% pacjentów z ZZSK choroba rozwinęła się przed 30. rokiem życia, a u niespełna 5% pacjentów objawy pojawiają się po 45. roku życia. Choroba ta najbardziej rozpowszechniona jest w krajach skandynawskich, a także wśród niektórych plemion Eskimosów oraz Indian. W Europie szacuje się częstotliwość jej występowania między 0,5 % populacji, w zależności od kraju [1]. U pacjentów, którzy w wywiadzie deklarowali wykonywanie ciężkich prac fizycznych w przeszłości, aktywne palenie oraz występowanie chorób reumatycznych w rodzinie, dostrzeżono wyższy poziom aktywności choroby w stosunku do osób, u których te czynniki nie występowały [1]. ZZSK ma bardzo zróżnicowany obraz kliniczny i potrafi manifestować się poprzez różnorodne objawy, zwłaszcza w początkowych fazach choroby, u pacjentów w młodym wieku. Interesujące jest to, że mężczyźni chorują inaczej niż kobiety. U kobiet objawy choroby oraz zmiany strukturalne w obrębie narządu ruchu występują rzadziej i są wyrażone słabiej niż u mężczyzn [5]. Ogólne objawy choroby, bez względu na podtyp schorzenia, są następujące: bóle pleców, stawów (głównie w kończynie dolnej), bóle związane z zapaleniem przyczepów ścięgniastych (najczęściej ścięgna Achillesa). Występują też objawy w innych narządach, związane z ich zapaleniem, np. zapalenie błony naczyniowej oka, przewlekłe stany zapalne jelit – u 54% pacjentów z obecnym HLA B-27 rozwija się choroba Leśniowskiego-Crohna, zapalenie aorty, a także przewlekłe stany zapalne nerek, dochodzi również do zmian strukturalnych w płucach – najczęściej do włóknienia szczytów płuc [1, 7]. Choroba zaczyna

się najczęściej od dolegliwości bólowych o charakterze zapalnym w obszarze stawów krzyżowo-biodrowych. Trzony kręgowe przybierają charakterystyczny układ przypominający bambusowy, czyli pionowe ustawienie trzonów kręgowych względem siebie, zniesienie wszelkich krzywizn kręgosłupa w jego odcinku lędźwiowym oraz hiperkifoza, czyli znaczne pogłębienie kifozy piersiowej w odcinku piersiowym oraz piersiowo-szyjnym (obraz znacznie częściej obserwowany u mężczyzn niż u kobiet) [1]. Takie ustawienie kręgosłupa wywołuje u pacjenta charakterystyczną postawę. Pomaga ona odciążyć podrażnione chorobowo struktury ciała, co zmniejsza dolegliwości bólowe, jednakże prowadzi do przeciążenia biernego aparatu ruchu (więzadła miednicy). Postępująca choroba w niedługim czasie zajmuje również kolejne struktury kręgosłupa oraz coraz to wyższe jego segmenty. Wymienione objawy pojawiają się w różnym natężeniu i częstotliwości [7]. Poza bólem w obrębie kręgosłupa bardzo charakterystycznym objawem jest jego sztywność oraz uczucie ścisku całego kręgosłupa, które ustępuje bardzo powoli [1]. Dolegliwość ta nasila się najbardziej w godzinach porannych, a więc największe natężenie problemu występuje zaraz po przebudzeniu. Pacjenci potrzebują kilkudziesięciu minut na rozruszanie się, zanim będą w stanie wstać i normalnie się poruszać (najczęściej w zakresie 30-120 minut) [8]. W tym czasie, w zależności od natężenia objawów, ruch staje się niemożliwy do wykonania lub znacznie utrudniony, przez co codzienne czynności zajmują bardzo dużo czasu i sprawiają trudność. W ciągu dnia sztywność zmniejsza się, zwłaszcza podczas aktywności fizycznej. Charakterystyczną cechą tej choroby jest utrata ruchomości oraz funkcji kręgosłupa [7]. W wyniku toczącego się stanu zapalnego w jego obrębie dochodzi do zmian strukturalnych w okolicy torebek stawowych oraz więzadeł kręgosłupa. Tkanka łączna w obszarze przykręgosłupowym, w odpowiedzi na zmienioną biomechanikę oraz toczące się zapalenie, sztywnieje, zmieniając swoją strukturę w kierunku chrzęstno-stawowej oraz nadbudowując tkankę kostną [9]. W wyniku uszkodzenia powierzchni stawowych oraz zmian strukturalnych tkanki łącznej kręgosłup sztywnieje stopniowo, tracąc możliwości ruchowe. Wraz z postępem choroby coraz wyższe segmenty kręgosłupa zaczynają ulegać procesom zapalnym, co prowadzi w niektórych przypadkach do całkowitej utraty możliwości ruchu na każdym poziomie kręgosłupa. W badaniach radiologicznych u tych pacjentów można zaobserwować występowanie syndesmofitów, czyli blozków kostnych pomiędzy sąsiadującymi kręgami, które uniemożliwiają ruch kręgów względem siebie [9]. Na późniejszych etapach choroby często diagnozowana jest również osteoporoza. Obwodowe zapalenia stawów są najczęściej jednostawowe i w początkowej fazie choroby asymetryczne, a następnie symetryczne [1]. Diagnostyka ZZSK opiera się w dużej mierze o badania radiologiczne – widoczne zmiany

w obrębie stawów krzyżowo-biodrowych stały się istotnym czynnikiem w tworzeniu kryteriów kwalifikujących do rozpoznania ZZSK ze względu na częstotliwość występowania u tych pacjentów [10].

2. Biomechanika oddychania

Wentylacja płuc to powtarzające się po sobie cykle oddechowe, w których wyróżniamy wdech, czyli fazę, kiedy powietrze dostaje się ze środowiska zewnętrznego do płuc, oraz wydech, kiedy powietrze z płuc jest wydalone na zewnątrz. Wdech jest ruchem aktywnym, kiedy to masa klatki piersiowej porusza się wbrew grawitacji. Spokojny wydech jest natomiast ruchem pasywnym, gdy rozluźnieniu ulegają mięśnie wdechowe i pod wpływem ciężaru klatki piersiowej dochodzi do wyciskania powietrza z płuc na zewnątrz [11, 44]. W spokojnym wdechu głównym mięśniem wdechowym jest przepona, która regulując swoją wysokość, wpływa na ciśnienie w obrębie klatki piersiowej, obniżając je, co skutkuje stworzeniem podciśnienia. Ciśnienie mniejsze od atmosferycznego powoduje dostanie się powietrza do płuc [45]. W warunkach spoczynkowych wydech jest aktem biernym, natomiast w momencie kiedy ciało potrzebuje zwiększyć wydolność oddechową, dodatkowo aktywuje pomocnicze mięśnie wydechowe, które w znaczny sposób przyspieszają fazę wydechową i poprawiają jej skuteczność poprzez stworzenie większej przestrzeni dla płuc. Mięśnie oddechowe możemy podzielić na wdechowe, których głównym zadaniem jest unoszenie mostka i żeber, a także wydechowe, które mają za zadanie obniżać mostek oraz żebra. Możemy wprowadzić również dodatkowy podział obu grup na mięśnie główne, które uczestniczą w każdym wdechu oraz wydechu, i mięśnie pomocnicze, które włączają się tylko w trakcie natężonych ruchów oddechowych [11, 44]. Do głównych mięśni wdechowych zaliczamy mięśnie międzyżebrowe zewnętrzne, przeponę oraz dźwigacze żeber, a do pomocniczych mięśni wdechowych mięśnie mostkowo-obończykowo-sutkowe, mięśnie piersiowe mniejsze, mięsień zębaty przedni, mięsień zębaty tylny górny, mięsień biodrowo-żebrowy. Do głównych mięśni wydechowych zaliczamy mięśnie międzyżebrowe wewnętrzne (co prawda wydech w dużej mierze jest aktem biernym związanym z grawitacją i ciężarem klatki piersiowej, ale w fazie wdechowej mięśnie międzyżebrowe wewnętrzne są mocno rozciągane i w momencie rozkurczu mięśni wdechowych poprzez swoje rozciągnięcie próbują wrócić do normalnej długości, przez co wykonują pracę mechaniczną, która wspomaga wydech), a do pomocniczych mięśni wydechowych zaliczamy mięśnie brzucha (prosty, skośny wewnętrzny oraz zewnętrzny, poprzeczny brzucha, zębaty tylny dolny, czworoboczny lędźwi oraz najszerszy grzbietu) [46].

2.1 Spokojny oddech

Opisane mechanizmy oraz praca mięśni sugerują, że ruch wdechu i wydechu są przeciwstawne do siebie. Natomiast fizjologicznie ruchy te oddziałują na siebie i płynnie przechodzą jeden w drugi. Głównym mięśniem wdechowym jest przepona, natomiast mięśnie brzucha (traktowane jako całość – proste, skośne oraz poprzeczny) są znakomitymi antagonistami przepony. Działają one naprzemiennie – w fazie wdechowej, kiedy narasta napięcie w przeponie, mięśnie brzucha pozostają rozluźnione w celu obniżenia przepony, kiedy przepona w pierwszej fazie wdechowej obniża się, powoduje to zwiększenie ciśnienia w obszarze jamy brzusznej i przesuwanie narządów do przodu, w tym momencie napinają się mięśnie brzucha, żeby zahamować ten proces, w wyniku czego centrum ścięgnięte przepony się stabilizuje i zachodzi możliwość uniesienia żeber. W fazie wydechowej, w momencie rozluźnienia przepony, aktywne już mięśnie brzucha pociągają dolne żebra w kierunku dolno-przyśrodkowym, w wyniku zmiany ciśnienia w obrębie śródpiersia (rozluźnienie przepony) oraz napięcia mięśni brzucha narządy wewnętrzne przesuwają się do tyłu i zaczynają unosić przeponę, co ułatwia ruch wydechowy. Dochodzi do perfekcyjnej współpracy między tymi mięśniami dzięki trójpłaszczyznowemu wpływowi każdego z nich na wymiary dolne klatki piersiowej [11, 44].

2.2 Natężony oddech

W momencie kiedy zdolności adaptacyjne układu oddechowego są niewystarczające, a zapotrzebowanie na tlen rośnie, aktywowane zostają dodatkowe mechanizmy, dzięki którym ciało rozwija zdolności oddechowe. Aby zwiększyć ilość powietrza dostającego się do płuc i tym samym powiększyć pole wymiany tlenowej, klatka piersiowa musi poszerzyć swoją powierzchnię. Odbywa się to poprzez zwiększenie jej wymiaru zarówno strzałkowego, jak i czołowego. W pierwszej kolejności aktywowane są pomocnicze mięśnie oddechowe zwiększające wymiar w dolnej części klatki piersiowej, aby zmaksymalizować pracę przepony, dlatego włączają się do pracy mięśnie zębate tylne dolne oraz mięśnie biodrowo-żebrowe w części piersiowej. Jeżeli ustabilizowana jest łopatka, uruchamiają się mięśnie zębate przednie. Kiedy mechanizm ten jest niewystarczający, aktywowane zostają mięśnie piersiowe, aby wspomóc wentylację środkowych części klatki piersiowej poprzez uniesienie mostka i żeber. W tym celu stabilizowana jest łopatka poprzez aktywację mięśni przykręgosłupowych, co umożliwia podparcie się o nią mięśni piersiowych i podciągnięcie żeber oraz mostka w kierunku wdechowym (przednio-górnym). Mechanizm ten wspomagany

jest przez mięsień zębaty tylny górny, który poprzez rotację żeber ułatwia uniesienie mostka mięśniom piersiowym. W przypadku niewystarczających możliwości oddechowych uruchamiane zostają mechanizmy związane z górnym otworem klatki piersiowej. Mięśnie obręczy kończyny górnej (mięśnie mostkowo-obończykowo-sutkowe, mięśnie pochyle, dźwigacze łopatki), stabilizujące się na odcinku szyjnym kręgosłupa, ciągną pierwsze dwa żebra oraz mostek do góry, aby zwiększyć wentylację przez szczyty płuc, jednocześnie podciągając obręcz, co ułatwia dodatkowe uniesienie mostka. Zwiększona ilość powietrza dostającego się do płuc sprawia, że ilość powietrza wydychanego również znacząco wzrasta. Gdyby wydech miał być aktem wyłącznie biernym, trwałby bardzo długo, natomiast płuca muszą pozbyć się dwutlenku węgla względnie szybko, dlatego zachodzi potrzeba, by przyspieszyć ten proces. Zwiększenie objętości wdechowej samo w sobie podnosi ciśnienie w płucach, dlatego różnica ciśnień zapewnia szybszy wydech. Mechanizm ten jest jednak niewystarczający. Nadmiernie rozciągane mięśnie międzyżebrowe wewnętrzne poprzez rozciągnięcie włókien próbują powrócić do swojej długości wyjściowej, dlatego w wyniku odruchu na rozciąganie pociągają żebra ponownie w dół i do środka. Mięśnie poprzeczne klatki piersiowej oraz mostkowo-żebrowe ponownie ciągną wysoko uniesiony mostek w dół po to, żeby zwiększyć różnicę ciśnień w klatce piersiowej. W trakcie wysiłkowego wdechu najbardziej zmienia się wymiar dolnej części klatki piersiowej, dlatego również w tym obszarze działa najwięcej mięśni wydechowych, aby ten wymiar szybko zmniejszyć. Główne mięśnie pomocnicze wydechowe to mięśnie brzucha, które dzięki dwóm mechanizmom wspierają wydech. Po pierwsze zwiększają ciśnienie w jamie brzusznej, aby wypchnąć przeponę ponownie w górę, po drugie poprzez swoje przyczepy umiejscowione na mostku i dolnych żebrach mają zadanie pociągnąć je w dół, w kierunku wydechowym. Proces ten wspierany jest przez mięśnie zębate tylne dolne, które przywracają żebra do poprzedniego ustawienia, aby wspomóc czynność obniżania ich. W przypadku potrzeby zaczerpnięcia maksymalnego wdechu aktywują się mięśnie czworoboczne oraz najszersze, które mają za zadanie maksymalnie obniżyć dolne żebra, aby wypchnąć przeponę w stronę płuc [11, 44].

3. Zaburzenia oddechowe w ZZSK

Oddychanie jest czynnością dwuetapową. Pierwszy etap – mechaniczny – polega na dostarczeniu powietrza atmosferycznego do płuc, gdzie następuje drugi etap fizjologiczny – który polega na wymianie tlenu i dwutlenku węgla pomiędzy pęcherzykami płucnymi a powietrzem wewnątrz płuc [11]. U pacjentów z ZZSK zaburzeniu mogą ulec oba mechanizmy – zarówno mechaniczny, jak i fizjologiczny. Zaburzenia mechaniczne oddychania występują u większości pacjentów z ZZSK [13]. W wyniku choroby i toczącego się stanu zapalnego może dochodzić do zmian strukturalnych wewnątrz płuc, jednakże nie jest to u tych pacjentów objaw typowy. Występują one stosunkowo rzadko i nie u wszystkich chorych [12]. U większości osób zaobserwowano zmniejszenie parametrów oddechowych [14] oraz nieprawidłowości we wzorcach oddechowych [13]. Wynika to ze zmian posturalnych, które prowadzą do nieprawidłowości w obrębie układu oddechowego i zaburzenia prawidłowej mechaniki oddychania [15]. Do prawidłowego oddychania niezbędna jest odpowiednia praca narządu ruchu wspomagającego procesy oddechowe. Kręgosłup i klatka piersiowa stanowią podporę dla płuc i śródpiersia. W wyniku kątowej zmiany ustawienia dochodzi do zaburzenia mechaniki całej klatki piersiowej, zmienia się jej wymiar pionowy oraz poprzeczny, przez co w obrębie klatki piersiowej robi się mniej miejsca dla płuc i są one ściśnięte [11]. Zmniejszona jest również rozszerzalność klatki piersiowej, ponieważ dochodzi do usztywnienia żeber oraz chrząstek żebrowych, w wyniku czego klatka piersiowa w trakcie wdechu nie jest w stanie stworzyć miejsca dla powietrza, które powinno się tam znaleźć [16-20]. Hiperkifotyczne ustawienie kręgosłupa piersiowego uniemożliwia ruchy obrotowe żeber, przez co klatka piersiowa nie jest w stanie unieść się tak, żeby stworzyć miejsce dla wypełnienia płuc [11, 21, 22]. Nieprawidłowe ustawienie kręgosłupa piersiowego spycha przeponę w stronę trzewną, jednocześnie podnosząc ciśnienie w obrębie jamy brzusznej, przez co przepona nie jest w stanie pracować w optymalnych warunkach [11, 23]. Kątowa zmiana ustawienia kręgosłupa oraz żeber powoduje zmniejszenie przestrzeni międzyżebrowych, przez co mięśnie znajdujące się tam ulegają skróceniu i nie mogą wykonywać swojej pracy. Zmiana ustawienia kręgosłupa, żeber oraz mostka wpływa dodatkowo negatywnie na pomocnicze mięśnie oddechowe, część z nich napina się nadmiernie (mięśnie pochyłe, przepona oddechowa, mięśnie międzyżebrowe zewnętrzne, mięśnie mostkowo-obojczykowo-sutkowe, mięśnie piersiowe, mięsień mostkowo-żebrowy, mięśnie brzucha), co uniemożliwia prawidłowy mechanizm wdechowy. Druga część staje się nadmiernie rozciągnięta (dźwigacz żeber, mięsień zębaty przedni, mięsień zębaty tylny górny

oraz dolny, mięśnie międzyżebrowe wewnętrzne, czworoboczny lędźwi oraz najszerszy grzbietu), w wyniku czego nie jest w stanie wygenerować takiego napięcia, aby podciągnąć żebra lub mostek [11, 20].

4. Narzędzia do oceny mechaniki oddychania

Mechanika oddychania jest skomplikowanym zagadnieniem do oceny. Problemy oddechowe mogą wynikać z nieprawidłowości funkcjonalnych (płuca, oskrzela), jak również mechanicznych (klatka piersiowa, mięśnie oddechowe). Odróżnienie jednych od drugich bywa niełatwe z uwagi na częste występowanie dysfunkcji oddechowych obu typów jednocześnie. Zaburzenia w zakresie mechaniki oddechowej również bywają trudne do oceny ze względu na problemy diagnostyczne. Wiele elementów ruchowych, które ze sobą współpracują, wpływają jedno na drugie. Występują niewielkie, subtelne ruchy trudne do obserwacji oraz do pomiaru. Dlatego też powstało kilka systemów, które umożliwiają diagnozę i znacznie upraszczają proces oceny.

4.1 RMMI – Respiratory Movement Measuring Instrument

Urządzenie mające na celu dokonywanie pomiarów ruchów oddechowych. Aparat składa się z 6 czujników laserowych o dokładności pomiarowej 0,0003 mm i częstotliwości pomiarowej 21 Hz, umocowanych na ciele pacjenta, oraz dwóch wysięgników, które odbierają zmiany położenia czujników, a także programu komputerowego przeliczającego uzyskane dane (Rycina 1). Wysięgniki są regulowane zarówno w pionie, jak i w poziomie, po to, aby mogły dostosowywać się do wielkości pacjenta i kształtu klatki piersiowej. Każdy pomiar trwa minutę, w tym czasie rejestratory dokonują pomiarów zmian położenia czujników, tym samym dokonując pomiaru zmiany kształtu klatki piersiowej w trakcie oddechu [24-27].



Rycina 1. Rozmieszczenie czujników na ciele pacjenta w technologii RMMI [24].

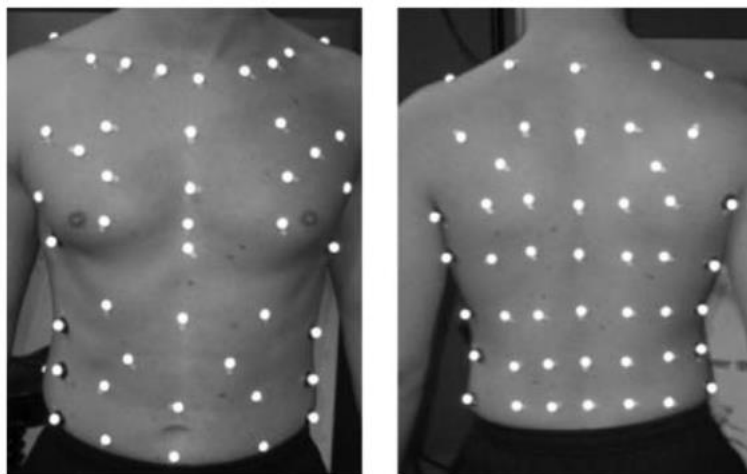
4.2 Pletyzmografia optoelektroniczna

Jest to urządzenie, które pozwala na pomiar zmian objętości klatki piersiowej oraz jej komponentów. Badanie jest dosyć uniwersalne, ponieważ pozwala na pomiar nie tylko klatki piersiowej w trakcie oddechu, ale również podczas czynności dynamicznych, np. gry na flecie. Dzięki technologii stosowanej w tym systemie możliwe są również pomiary w nocy, np. w diagnostyce bezdechu sennego. Urządzenie pozwala na prowadzenie badania zarówno w pozycji leżącej, stojącej, jak i siedzącej. Badanie z pomocą tego narzędzia wymaga założenia czujników w miejscach referencyjnych na ciele pacjenta, a następnie obserwacji parametrów przy użyciu 6 kamer: 3 ustawionych z przodu oraz 3 z tyłu pacjenta (Rycina 2).



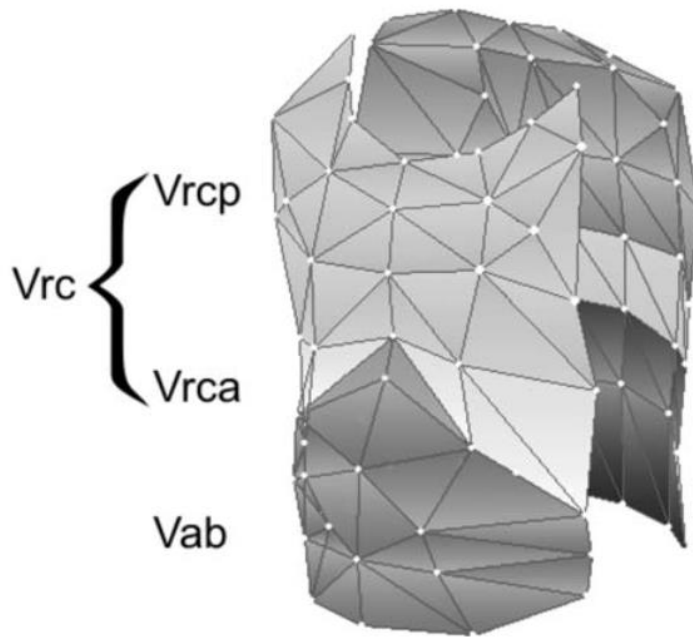
Rycina 2. System pletyzmografii optoelektronicznej. Rozmieszczenie kamer, pomiar ruchu [34].

Markery są umieszczone w 7 rzędach na ciele pacjenta (Rycina 3). Orientacyjne punkty to linia obojczyków, chrząstkozrost rękojeści mostka, brodawki sutkowe, wyrostek mieczykowaty, dolny brzeg żeber (10 żebro w linii pachowej), pępek, kolce biodrowe przednie górne.



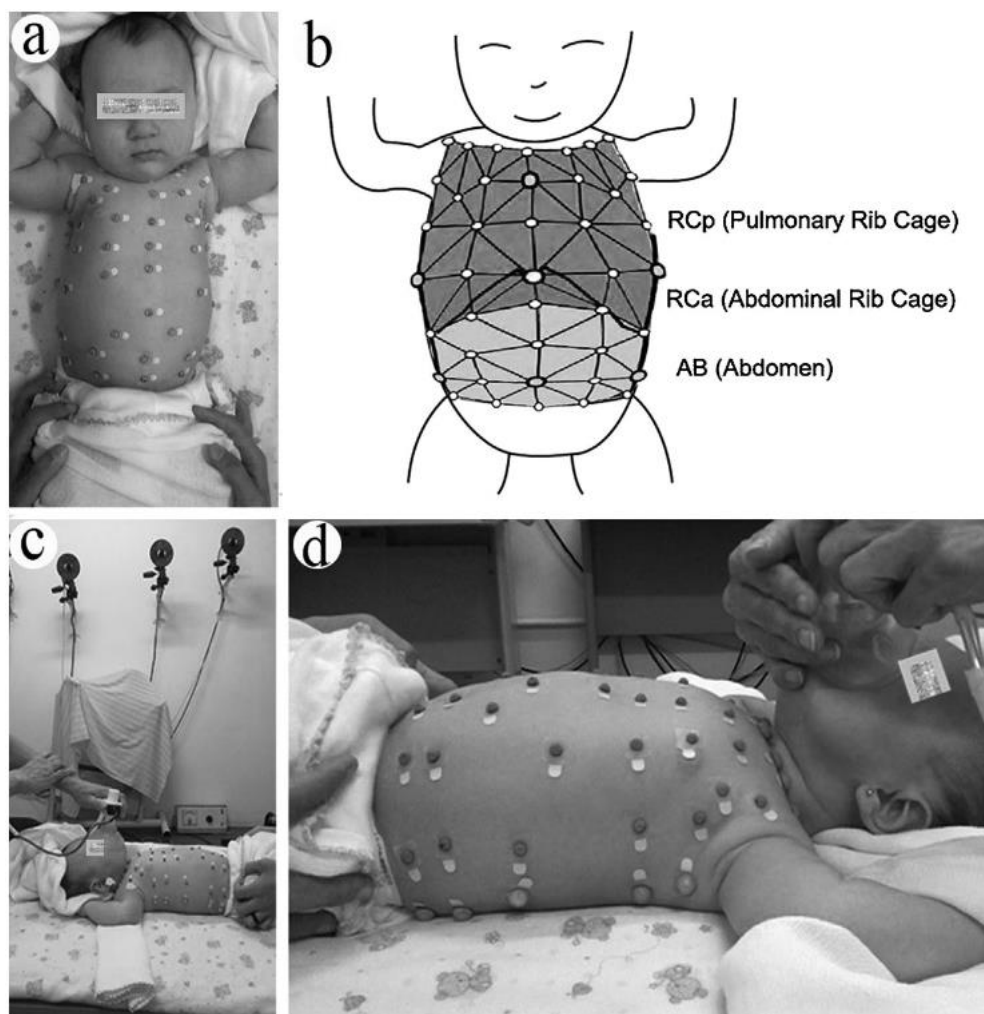
Rycina 3. Rozmieszczenie markerów na klatce piersiowej. Widok z przodu i z tyłu pacjenta [34].

Kamery rejestrują zmiany położenia markerów w przestrzeni, następnie wyliczając stosunek wzajemny pomiędzy nimi, określają zmiany kształtu klatki piersiowej. Tworzą wirtualny model na bazie trójkątów utworzonych pomiędzy kolejnymi markerami (Rycina 4).



Rycina 4. Trójwymiarowy, komputerowy model klatki piersiowej uzyskany poprzez technologię pletyzmografii optoelektronicznej [34].

Bardzo dużą zaletą tej metody jest modelowanie, które obejmuje część piersiową oraz część brzuszną w trakcie oddechu – na część piersiową największy wpływ mają dodatkowe mięśnie oddechowe, a na część brzuszną głównie przepona oddechowa (Rycina 5) [28-34].



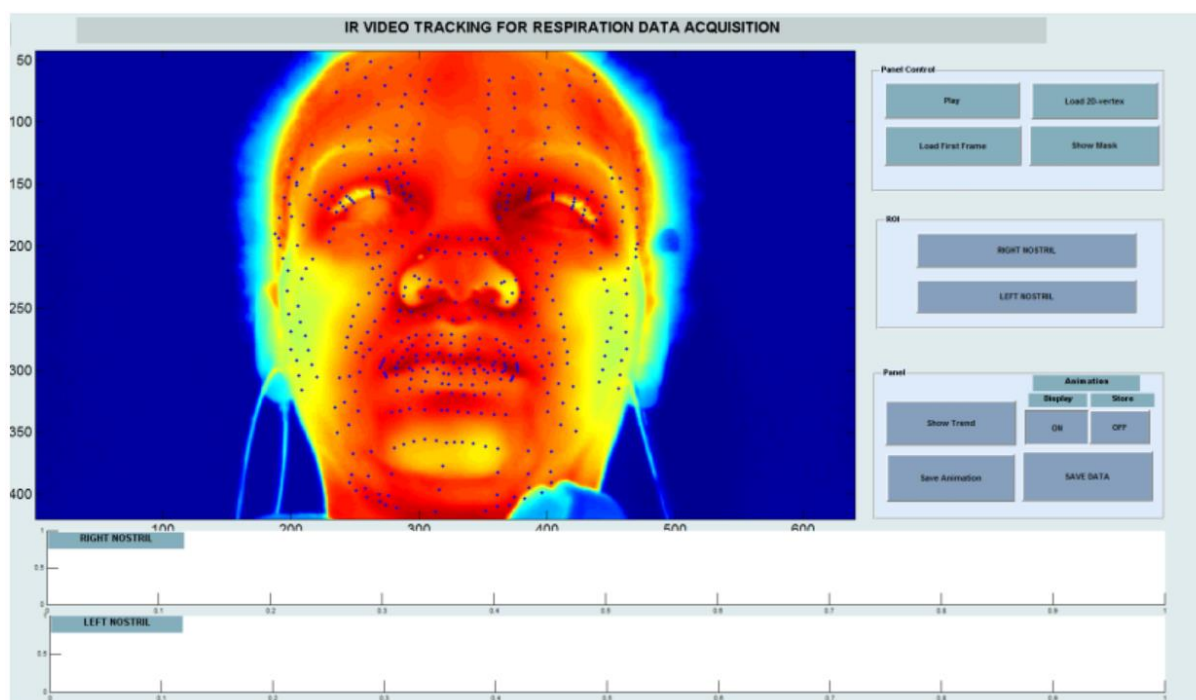
Rycina 5. Podział klatki piersiowej na badane strefy oddechowe [31].

4.3 Ultrasonografia

Zastosowanie badania ultrasonograficznego u pacjentów z ZZSK w dużej mierze koncentruje się na szukaniu nieprawidłowości w strukturze samych płuc i opłucnej. Monitoruje się również mechanikę przepony, natomiast nie jest to wystarczająca informacja odnośnie do samej mechaniki oddychania. Próbuje się więc korelować badania ultrasonograficzne płuc z badaniami funkcjonalnymi (pletyzmografia, spirometria), jednakże dostarczane informacje nie dają wyraźnych odpowiedzi, gdzie i co działa nieprawidłowo. Głowica do ultrasonografii musi być skoncentrowana na jednej konkretnej strukturze, pomijając wszystkie inne biorące udział w cyklu oddechowym [35, 36].

4.4 Kamery na podczerwień

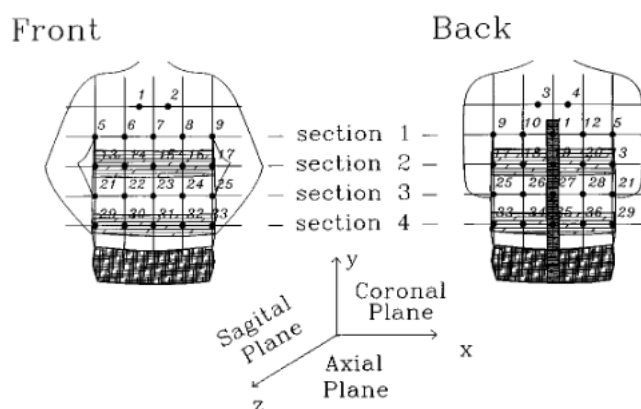
Kamery na podczerwień stosowane są w obrazowaniu częstotliwości oddechowych, szacowanych parametrów oddechowych, jak również torów oddechowych (Rycina 6). Jednak przy użyciu tej technologii mechanika samej klatki piersiowej nie jest bardzo wyraźna. Kamery na podczerwień wykorzystywane do badań naukowych badają światło w przedziale 750-30 000 nm. Dla porównania klasyczna kamera na podczerwień do użytku amatorskiego wyłapuje światło w przedziale 3-5 tys. nm, dlatego odtwarzanie badań w warunkach domowych jest niemożliwe. Światło podczerwone składa się z trzech pasm – pasmo odbłaskowe, 750-3000 nm, pasmo termiczne, 3–14 tys. nm, pasmo ekstremalne, 14-30 tys. nm. [37].



Rycina 6. Pomiar mechaniki oddechowej przy użyciu kamer na podczerwień [37].

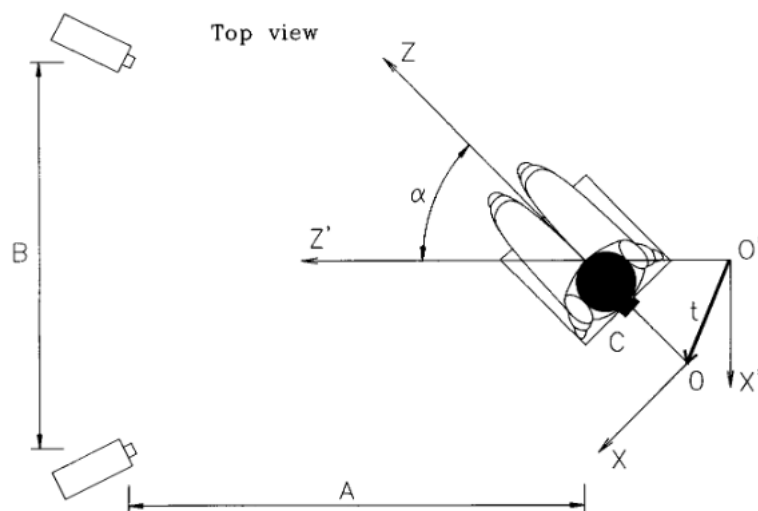
4.5 System ELITE

Próbowano również tworzyć wizualizacje ruchów klatki piersiowej w systemie wizualnych analizatorów ruchu, np. ELITE system, jak i innych mu podobnych. W urządzeniu typu ELITE również korzysta się z markerów naklejanych na ciało pacjenta – w tym wypadku 36 umieszczonych w konkretnych miejscach referencyjnych: III oraz V chrząstka międzyżebrowa, połowa drogi między wyrostkiem mieczykowatym a brzegiem żebra oraz na wysokości pępka (Rycina 7).



Rycina 7. Schemat ułożenia znaczników na klatce piersiowej, widok z przodu i tyłu pacjenta [38].

Kolejne zbiory znaczników są nagrywane pod kątem 45-90°. Każde nagranie trwa 30 sekund, w trakcie których komputer dokonywał analizy zmian ustawienia znaczników (Rycina 8) [38, 39].



Rycina 8. Schemat ustawienia kamer oraz badania pacjenta przy użyciu systemu Elite [38].

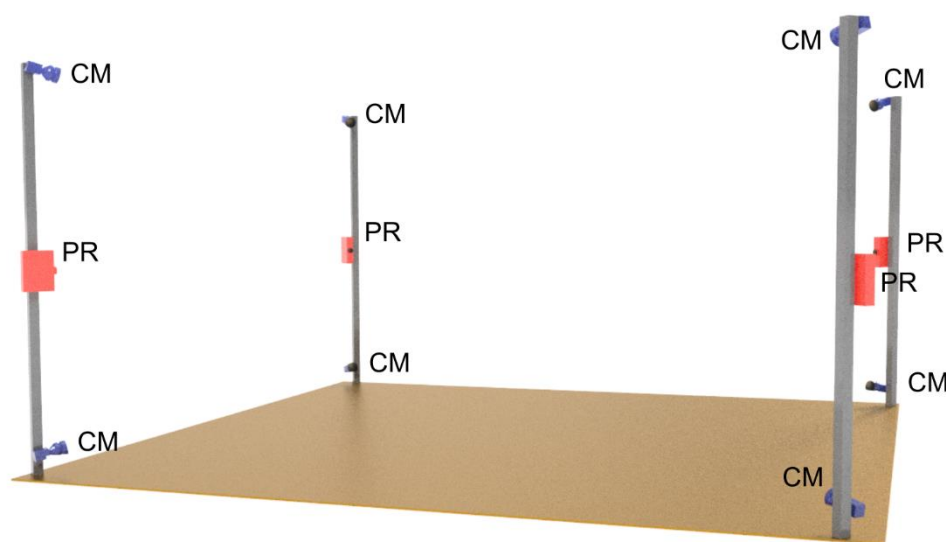
4.6 Tomografia komputerowa

Do oceny klatki piersiowej w ZZSK używa się również tomografii komputerowej, natomiast badanie to u pacjentów z ZZSK stosuje się przede wszystkim do oceny stanu płuc. Oczywiście ujmuje ono zmiany kształtu klatki piersiowej w zależności od fazy oddechowej, jednak nie to podlega ocenie w tym badaniu. Zastosowanie tomografii komputerowej do obrazowania klatki piersiowej w warunkach mechanicznych jest bardzo drogie i wymaga

zajęcia urządzenia, które stosuje się również w diagnostyce innych chorób. Ponadto promieniowanie rentgenowskie, na działanie którego wystawiani byłiby pacjenci z ZZSK w trakcie wielokrotnych badań (np. diagnostyka, programowanie rehabilitacji oraz monitorowanie jej postępów) przyniosłoby im więcej szkody niż pożytku. U większości pacjentów z ZZSK, którzy mieli objawy oddechowe, w tomografii komputerowej płuc radiolodzy znajdowali większe lub mniejsze nieprawidłowości w ich strukturze, co sugeruje, że problemy oddechowe tych chorych nie są wyłącznie mechaniczne [40, 41].

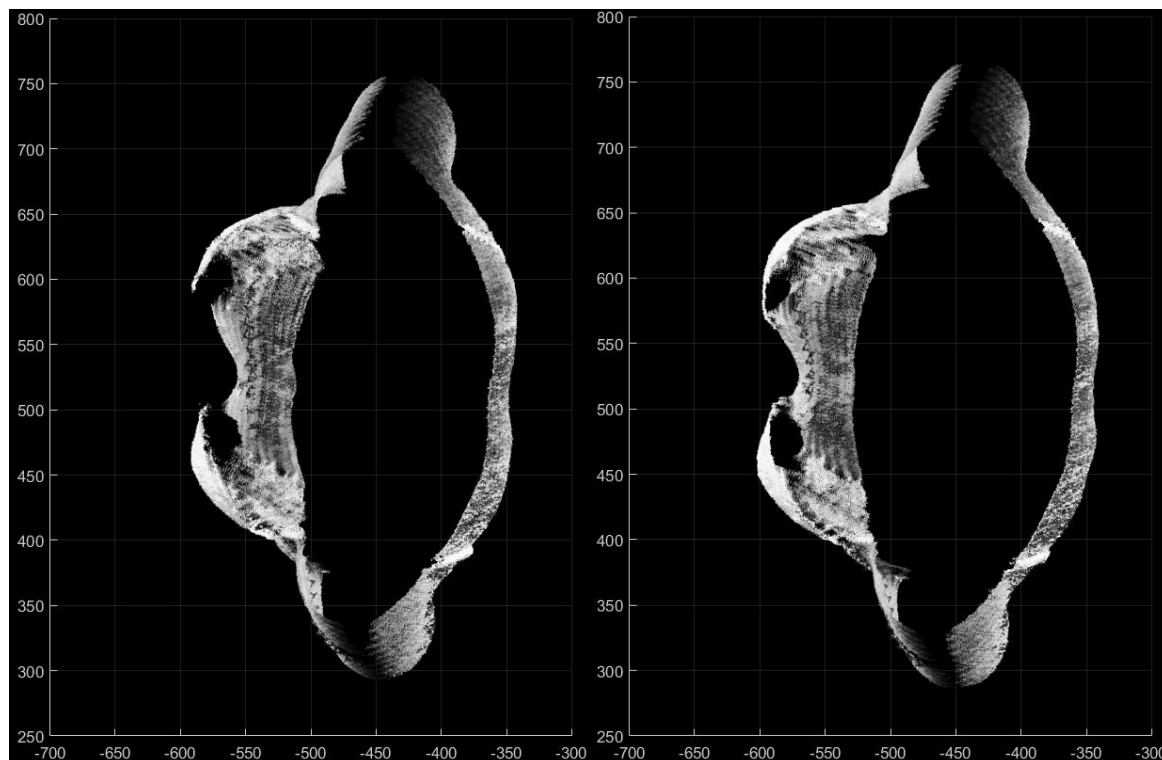
4.7 4DBODY

Technologia 4DBODY znalazła zastosowanie w obrazowaniu mechaniki oddechowej. Urządzenie składa się z 8 czujników, które są podzielone na 4 projektory oraz 4 głowice pomiarowe. Urządzenia są równomiernie rozmieszczone wokół środka pomiaru (Rycina 9).



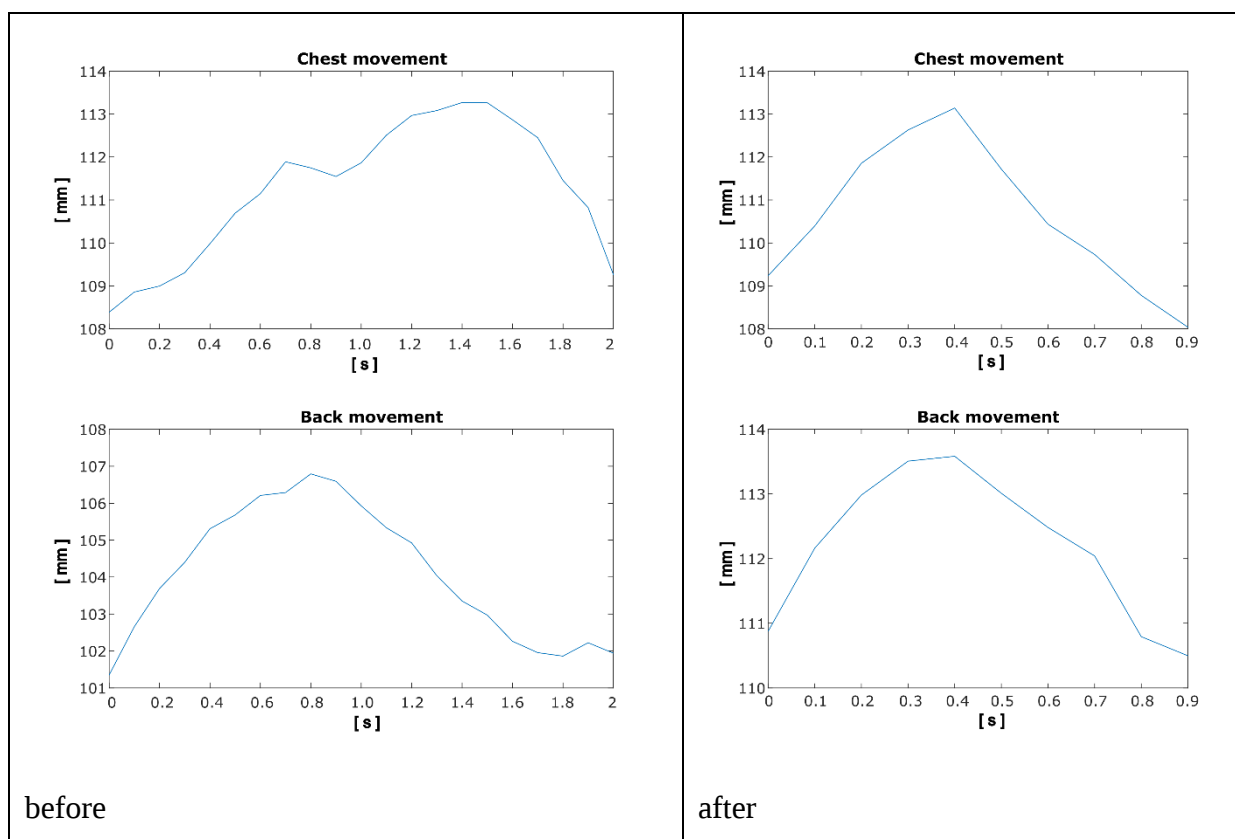
Rycina 9. Model technologii 4DBODY – ustawienie czujników [42].

Projektorem jest urządzenie wysokiej rozdzielczości, które łączy technologię lasera, technologii LED (*light-emitting diode*) oraz źródła światła o wartości 2500 lumenów. System wykorzystuje projekcję światła strukturalnego w wariacie jednoramowym opartym na sinusoidalnym wzorze prążków. Sąsiadujące ze sobą głowice pomiarowe są odseparowane od siebie w zakresie pola monitorowanego, co umożliwia monitorowanie całego ciała pacjenta nawet w ruchu. Na podstawie kąta załamania światła wychwytywanego przez czujniki urządzenie tworzy chmurę punktów, którą następnie komputer przelicza na kształt rzeczywisty (Rycina 10).



Rycina 10. Model matematyczny klatki piersiowej pacjenta [42].

Na ciało pacjenta nie nakłada się żadnych czujników ani markerów, wszystko liczone jest na podstawie załamień światła. Pacjent ustawiony w centrum pola pomiarowego proszony jest o pełen cykl oddechowy, opierający się o wdech i wydech, oraz natężony wdech i wydech w celach kalibracyjnych. Zaletą tej metody jest nie tylko uzyskanie matematycznego modelu klatki piersiowej, z której możemy wyliczać całkowitą objętość czy rozszerzalność klatki piersiowej w danej fazie oddechowej, ale również otrzymanie wykresu przesunięć czasowo-przestrzennych (Rycina 11), dzięki czemu wiemy, jak pracowały poszczególne elementy w każdej fazie oddechowej. Metoda ta jednak jest dopiero na etapie testowania, przez co urządzenie nie zostało walidowane, zaś liczba przebadanych pacjentów jest zbyt mała, aby wyznaczać normy, do których można by się odwoływać. Dlatego narzędzie to wymaga dalszych badań [42].



Rycina 11. Wykres pracy poszczególnych elementów klatki piersiowej w czasie [42].

4.8 Pletyzmografia

Badanie czynnościowe płuc, w trakcie którego pacjent zostaje zamknięty w komorze pletyzmograficznej, gdzie oddycha przez ustnik. Komora ma za zadanie utrzymać stałe ciśnienie wewnątrz, co zapobiega artefaktom pomiarowym, takim jak wentylacja, klimatyzacja, przeciąg, zmiany ciśnienia w pomieszczeniu do badań. Kabina jest szczelnie wypełniona znaną objętością powietrza, dlatego wahania błyskawicznie zostają zarejestrowane przez urządzenie. Pacjent w trakcie badania zakłada na nos szczelny klips, który ma uniemożliwić mu oddychanie przez nos i skłonić do pełnego oddychania przez usta, aby zapewnić prawidłowe wyniki pomiarowe. W trakcie badania pacjent oddycha przez ustnik, a urządzenie dokonuje pomiarów. Początkowo bada się spokojny wdech, następnie blokuje się ustnik (pacjent oddycha dalej) i w tym momencie mierzone są ciśnienia panujące w obrębie dróg oddechowych. W wyniku braku możliwości przepływu powietrza przez ustnik dochodzi do powstania podciśnienia w obrębie płuc. Badanie najczęściej uzupełnione jest o spirometrię [43].

Tabela 1. Parametry pletyzmografii [43].

Parametr	Objaśnienie	Opis
MIP	maksymalne ciśnienie wdechowe (<i>maximal inspiratory pressure</i>)	Maksymalne ciśnienie, jakie mięśnie pacjenta są w stanie wygenerować w trakcie wdechu w warunkach statycznych.
MEP	maksymalne ciśnienie wydechowe (<i>maximal expiratory pressure</i>)	Maksymalne ciśnienie, jakie mięśnie pacjenta są w stanie wygenerować w trakcie wydechu w warunkach statycznych.
TLC	całkowita pojemność płuc (<i>total lung capacity</i>)	Maksymalna ilość powietrza, jaką mogą przyjąć płuca w trakcie maksymalnego wdechu.
VC	pojemność życiowa płuc (<i>vital capacity</i>)	Maksymalna ilość powietrza, jaką można wydalić z płuc po maksymalnym wdechu.
RV	objętość zalegająca (<i>residual volume</i>)	Ilość powietrza, która pozostaje w płucach po maksymalnym wydechu.
sRAW	opór dróg oddechowych (<i>airway resistance RAW</i>)	Miara oporu, jaki pokonuje powietrze w drogach oddechowych.
FRC	czynnościowa pojemność zalegająca (<i>Functional residual Capacity</i>)	Ilość powietrza pozostająca w drogach oddechowych po spokojnym wydechu.
ERV	objętość zapasowa wydechowa (<i>expiratory reserve volume</i>)	Ilość powietrza, jaką można wydalić z płuc w trakcie maksymalnego wydechu.

VCin	wdechowa objętość życiowa (<i>inspiratory vital capacity</i>)	Ilość powietrza, jaką można pobrać pomiędzy maksymalnym wydechem a maksymalnym wdechem
------	--	---

5. Zależności między funkcją narządu ruchu a funkcjami oddechowymi

Z uwagi na złożony model biomechaniczny ludzkiego ciała, który obejmuje funkcjonowanie bardzo wielu mięśni w procesie oddychania, zależności pomiędzy aparatem ruchu oraz funkcjami oddechowymi są bardzo mocno wyrażone [48]. Niewiele jest mięśni, które pełnią funkcje wyłącznie oddechowe. Większość z nich wpływa lub może wpływać również na narząd ruchu poprzez przyczepy na kończynach czy tułowiu. Wszystkie główne mięśnie oddechowe przyczepiają się w obrębie klatki piersiowej, mostka, żeber oraz kręgosłupa, co bezpośrednio wpływa na struktury tułowia [11]. Aby mógł się odbyć ruch oddechowy, musi zajść ruch żeber, a ten nie może się odbyć bez ruchomości kręgosłupa, dlatego ruchy te są bezpośrednio ze sobą sprzężone. Dysfunkcje klatki piersiowej związane z brakiem ruchomości w piersiowym odcinku kręgosłupa będą wpływały na zmniejszone możliwości ruchowe żeber i słabsze możliwości wymiany tlenowej [44]. Ograniczenie ruchomości żeber wpłynie na brak możliwości koncentrycznej pracy mięśni międzyżebrowych. Przepona przyczepiająca się do łuków żebrowych oraz trzonów żebrowych również jest mocno zależna od ich prawidłowego funkcjonowania. Pomocnicze mięśnie oddechowe leżące w obrębie górnego otworu klatki piersiowej mają swoje przyczepy na odcinku szyjnym kręgosłupa, dysfunkcje tego obszaru powodują więc osłabienie możliwości kurczliwych tych mięśni, w wyniku czego przestają one pełnić swoją rolę – górne żebra nie mogą zostać uniesione, przez co szczyty płuc gorzej się wentylują [11]. Pomocnicze mięśnie oddechowe w obrębie kończyny górnej w części brzusznej przyczepiają się w obrębie żeber, mostka oraz obojczyka i biegną do przodu łopatki, gdzie muszą się ustabilizować. W wyniku nadmiernej pracy zaczną pociągać łopatkę w kierunku przednim, przez co będą ograniczać zakres ruchu w kończynie górnej [44]. W części grzbietowej przyczepiają się one do kręgosłupa piersiowego i biegną do bocznego brzegu łopatki, zatem przy nadmiernej pracy spowodują ograniczenie wyprostu w kręgosłupie piersiowym. Z kolei to będzie rzutować na ograniczenie uniesienia żeber oraz pociągać łopatkę w kierunku kręgosłupa, zmniejszając tym samym jej możliwości ślizgowe konieczne do uzyskania pełnego zakresu ruchu w kończynie górnej [49- 54]. Mięśnie brzucha niezbędne do prawidłowego oddychania aktywują się przy prawie każdym ruchu tułowia, dlatego też ograniczenia ruchu tułowia będą mocno oddziaływały na dysfunkcje oddechowe [23]. Wszystkie wymienione dysfunkcje uświadaczniają się u pacjentów z ZZSK, dlatego ich mechanika oddechowa jest tak zaburzona. Teoria biomechaniczna znalazła wiele dowodów naukowych na swoją zasadność. Zaburzenia posturalne, w szczególności związane z zaburzeniami mechaniki klatki piersiowej, żeber, mostka,

kończyny górnej, wpływają bezpośrednio na zaburzenia oddychania obecne u pacjentów z ZZSK. Wraz z postępem choroby pewne zmiany posturalne rozwijają się, przez co coraz bardziej upośledzają oddychanie. Wykazano pozytywną korelację pomiędzy wiekiem pacjenta a odległością głowy od ściany (test ten ocenia ustawienie głowy pacjenta w przestrzeni i jest zależny od ustawienia kręgosłupa piersiowego oraz szyjnego) [2, 56]. Zaobserwowano również ujemną korelację pomiędzy czasem trwania choroby a ruchomością kończyn górnych, co sugeruje upośledzający przebieg choroby. Ruchomość kończyn górnych koreluje też z ustawieniem kręgosłupa piersiowego oraz wyjściowym kątowym ustawieniem odcinka szyjnego kręgosłupa [50-55]. Zaobserwowano także korelację pomiędzy ustawieniem kręgosłupa lędźwiowego oraz piersiowego [55, 57]. U pacjentów z ZZSK lordoza lędźwiowa jest znacząco spłycona, co powoduje znaczne pogłębienie lordozy szyjnej, w wyniku której pomocnicze mięśnie oddechowe w okolicy szyjnej są niewydolne. Wykazano także zależność pomiędzy sztywnością klatki piersiowej i jej rozszerzalnością a upośledzeniem funkcji oddechowych [55, 58]. Również ustawienie kręgosłupa lędźwiowego wpływa na funkcje oddechowe, co potwierdza istotność roli przepony w tym aspekcie [55, 59]. W wielu publikacjach można odnaleźć doniesienia o osłabieniu parametrów oddechowych oraz ruchowych u pacjentów z ZZSK. Literatura przedstawia wyniki osłabienia parametrów TLC, RAW, VC, FVC, MIP, MEP [55, 60-62]. Zaobserwowano również ujemną korelację pomiędzy czasem trwania choroby a pogarszającymi się parametrami oddechowymi (TLC, VC) [22, 56, 60]. Parametry te wykazały też wysoką zależność w stosunku do rozszerzalności klatki piersiowej. Także siła mięśni oddechowych (MIP, MEP) jest związana z rozszerzalnością klatki piersiowej [2]. Opory oskrzelowe s_{Reff} , s_{Rtot} okazały się zależne od ruchomości kończyn górnych oraz ruchomości kręgosłupa piersiowego [55, 63].

Tabela 2. Korelacje pomiędzy parametrami funkcjonalnymi oraz oddechowymi [55].

Parameter s	MI P	ME P	sRef f	Rtot	Ref f	FR C	ER V	RV	TL C	Rv%TL C	VCi n
Age	0.17	0.16	0.28	0.31 *	0.28	0.12	0.34 *	-0.11	-0.02	-0.10	0.15
Disease duration	-0.11	-0.01	-0.18	-0.14	-0.13	0.19	0.27	-0.00	-0.17	0.03	0.03
OWD	-0.11	-0.11	-0.19	-0.19	-0.10	0.06	0.25	-0.05	-0.37 *	0.02	-0.20
Th4	0.12	0.26	0.20	0.07	0.00	0.21	0.21	0.09	0.55 *	-0.11	0.51 *
Th10	0.32 *	0.35 *	0.16	0.22	0.07	0.18	0.26	-0.02	0.27	-0.18	0.4*
LS	0.07	0.17	0.15	0.06	0.08	-0.01	-0.18	0.23	0.3*	0.18	0.11
TH	0.23	0.32 *	0.38 *	0.32 *	0.25	0.21	-0.04	0.14	0.35 *	0.17	0.13
C	-0.01	-0.03	0.14	0.16	0.26	0.10	0.16	0.10	-0.18	0.21	-0.13
ZgP	0.21	0.10	0.20	0.12	0.05	0.13	0.04	0.15	0.42 *	-0.01	0.33 *
OdP	0.17	0.15	0.21	0.05	-0.00	0.18	0.02	0.23	0.42 *	0.10	0.22
ZgL	0.33 *	0.34 *	0.39 *	0.29	0.24	0.02	-0.01	0.06	0.39 *	-0.04	0.3*
OdL	0.33 *	0.35 *	0.27	0.18	0.10	0.09	0.09	0.12	0.29	0.04	0.15

OWD – Occiput to Wall Distance, Th4 – chest expansion at the level of the fourth intercostal space, Th10 – chest expansion at the level of the shaft of the tenth thoracic vertebra, RSF – right shoulder joint flexion, RSA – right shoulder joint abduction, LSF – left shoulder joint flexion, LSA – left shoulder joint abduction, Th4 – chest expansion at the level of the fourth intercostal space, Th10 – chest expansion at the level of the shaft of the tenth thoracic vertebra, LS – lumbar spine alignment, TH – Thoracic spine alignment, C – cervical spine alignment. MIP – Maximal inspiratory pressure, MEP – maximal expiratory pressure, sRAW – specific airway resistance, sRtot – total sRaw (total specific airway resistance, sReff – effective sRaw (effective specific airway resistance), FRC – functional residual capacity, ERV – Expiratory reserve volume, RV – residual volume, TLC – total lung capacity, VC – vital capacity.

6. Metody fizjoterapii

Zesztywniające zapalenie stawów kręgosłupa jest chorobą ogólnoustrojową, która upośledza sprawność pacjenta na wielu płaszczyznach [1]. Praktycznie całe ciało działa w nieprawidłowych warunkach, co generuje ogromne przeciążenia w narządzie ruchu [1]. Zarówno w pierwotnych zmianach wewnątrz stawów, jak i w wyniku wtórnych dysfunkcji biomechanicznych dochodzi do znacznego upośledzenia funkcji ruchowych pacjenta.

Z uwagi na różnorodność objawów u pacjentów z ZZSK, również sposoby usprawniania chorych są wysoce zróżnicowane. Można zaobserwować pewne wzorce i tendencje (charakterystyczne ustawienie tych pacjentów, zmiany w obrębie kręgosłupa, upośledzenie funkcji dużych stawów, ból oraz sztywność okolicy przykręgosłupowej), jednakże z uwagi na szerokie spektrum dolegliwości, które występują praktycznie w każdej części narządu ruchu, program usprawniania powinien być zindywidualizowany. Poza bólem, sztywnością, ograniczeniem ruchu oraz zaburzeniami narządu ruchu również zaburzenia oddechowe stanowią u tych pacjentów duży problem [1]. Rzadko występują dysfunkcje związane ze zmianami strukturalnymi w układzie oddechowym [40], największa część problemów oddechowych ma podłoże mechaniczne i poprawa właśnie tego aspektu układu oddechowego dobrze wpływa na poprawę stanu funkcjonalnego. Niektóre podejścia terapeutyczne skupiają się głównie na poprawie wydolności krążeniowo-oddechowej [64-66], koncentrując się na aktywnościach o charakterze aerobowym. Inne natomiast ukierunkowują swoje starania na kinezyterapię ogólnorozwojową [66-70], zakładając, że poprawiając ogólną sprawność ciała pacjenta, poprawią również jego zdolności oddechowe. Kolejne natomiast skupiają uwagę na ćwiczeniach kinezyterapeutycznych zlokalizowanych w obszarze piersiowym, ukierunkowując się mocno na stretching przykurczonych grup mięśniowych oraz poprawę elastyczności klatki piersiowej [72-79].

6.1 Ćwiczenia oddechowe oraz wydolnościowe

Ćwiczenia oddechowe oraz aerobowe można potraktować jako wynik podobnego podejścia do problemu i zastosowanie podobnych mechanizmów wejściowych. Ten typ kinezyterapii ukierunkowany jest na poprawę funkcji układu oddechowego poprzez stopniowe obciążanie go wysiłkiem fizycznym, przez co adaptuje się on do zmiennych warunków. Pod wpływem kontroli układu oddechowego w trakcie ćwiczeń oddechowych pacjent uczy się „sterować” nim i dostosowywać tor oddechowy do potrzeb, jednocześnie ucząc się prawidłowych

wzorców oddechowych. W trakcie ćwiczeń wydolnościowych, poprzez stres metaboliczny związany z wymianą gazową i przemianami tlenowo-beztlenowymi, usprawnia się mechanizmy działające wewnątrz płuc, poprawia procesy wymiany gazów oraz przepływ krwi przez płuca. Wpływa to pozytywnie na wydolność pacjenta i przyzwyczajają go do funkcjonowania w metabolizmie tlenowym lub beztlenowym, podnosząc próg przemian beztlenowych.

6.2 Kinezyterapia

Kinezyterapia oddechowa skoncentrowana jest głównie na ćwiczeniach mających za zadanie poprawić ruchomość w częściach ciała odpowiedzialnych bezpośrednio lub pośrednio za mechanizmy oddechowe. W przypadku pacjentów z ZZSK ukierunkowana jest ona głównie na poprawę wyprostu w kręgosłupie piersiowym oraz jego rotacji, ruchomość kończyn górnych, wyprost w kręgosłupie lędźwiowym oraz wyprost w kręgosłupie szyjnym. Poza elementami stawowymi kinezyterapia ma również za zadanie rozciągnąć przykurczone mięśnie oddechowe oraz pomocnicze mięśnie oddechowe. Ponadto kolejnym celem tej formy usprawniania jest wzmocnienie osłabionych pomocniczych mięśni oddechowych oraz mięśni posturalnych, które mają za zadanie stworzyć odpowiednią podporę dla prawidłowego oddychania.

6.3 Inne metody terapeutyczne

Metody specjalne w fizjoterapii oraz metody pochodzące z medycyny wschodniej również mają wspomóc prawidłowe funkcjonowanie pacjenta. Terapie powięziowe pomagają uelastyczyć tkankę łączną w elementach ruchowych układu oddechowego, poprawić jej ślizg, przez co układ ruchu działa sprawniej i w większym zakresie. Terapie osteopatyczne usprawniają układ oddechowy poprzez pracę z jego unerwieniem oraz elastycznością tkanki łącznej należącej do układu oddechowego. Z kolei zadaniem medycyny wschodu jest wspomaganie szlaków energetycznych, do których należy układ oddechowy, i tym samym usprawnianie jego funkcjonowania.

6.4 Terapia manualna

Terapia manualna to szereg technik oraz chwytów, przy pomocy których terapeuta, używając swoich rąk, dokonuje manipulacji na tkankach pacjenta. Do terapii manualnych zaliczamy

mobilizacje stawowe, dzięki którym staw odzyskuje prawidłowy zakres oraz płynność ruchu, a także terapię tkanek miękkich, po zastosowaniu której dochodzi do poprawy elastyczności i zmniejszenia napięcia mięśniowego, przez co mięsień, a także cały układ zaczynają działać lepiej [123].

7. Różne formy usprawniania pacjenta w celu poprawy funkcji

oddechowych

Rehabilitacja jest bardzo skuteczną formą usprawniania, pozytywnie wpływającą na parametry oddechowe pacjenta. Większość zaproponowanych form usprawniania pacjenta z ZZSK ma pozytywny wpływ zarówno na pracę układu oddechowego, jak i na mechanikę klatki piersiowej, jednakże prezentowane rezultaty bywają bardzo różne. Klatka piersiowa to liczne elementy kostne połączone ze sobą ogromną ilością połączeń stawowych, dzięki czemu pomimo dużej odporności posiada sporą ruchomość. Ruchomość ta jest możliwa dzięki pracy mięśni tułowia, które bardzo często swoje przyczepy mają na elementach klatki piersiowej oraz kończyn. Stąd liczne zależności pomiędzy aparatem ruchu oraz układem oddechowym. Oddychanie pacjenta jest w dużej mierze aktem mięśniowym, dlatego aktywność fizyczna w każdej postaci będzie przynosiła pozytywne rezultaty. Liczne powiązania pomiędzy aparatem ruchu oraz biomechaniką oddychania wpłynęły na próby wdrażania różnych form usprawniania w celu poprawy parametrów oddechowych. Pod wpływem prowadzonej fizjoterapii oddechowej zaobserwowano poprawę rozszerzalności klatki piersiowej, ruchomości obręczy kończyny górnej, kręgosłupa, a także parametrów oddechowych. Do najczęstszych form prowadzenia usprawniania pacjenta z ZZSK należały ćwiczenia aerobowe, ćwiczenia rozciągające oraz terapia manualna.

Ćwiczenia aerobowe mogą mieć różny charakter. W ramach aktywności pacjentom z ZZSK zalecano: pływanie [65, 89], jazdę na cycloergometrze [90] lub rowerze [92], ale również bieganie na powietrzu [93, 94], bieganie na bieżni [91], chodzenie [65, 95], ćwiczenia ogólnousprawniające o wysokiej intensywności [92]. U pacjentów tych testowano również stosowanie różnych form rozciągania. Najbardziej popularny jest stretching poszczególnych grup mięśniowych [65, 91, 96], ale również rozciąganie statyczne [97] i poizometryczna relaksacja mięśniowa [73], a także ćwiczenia rozciągające w środowisku wodnym [96, 97]. Terapia manualna to szerokie spektrum działań wykonywanych przy użyciu rąk terapeuty [123]. W przypadku pacjentów z ZZSK potwierdzono pozytywne oddziaływanie zarówno pracy z tkankami miękkimi pacjenta [72, 73, 108], jak i oddziaływanie na bierny aparat ruchu przy pomocy mobilizacji stawowych [74-77].

8. Cel pracy

Potrzeby w zakresie rehabilitacji pacjentów z ZZSK są niepodważalne. Szerokie spektrum objawów wymaga szczegółowego podejścia do problemów, z jakimi zmagają się chorzy. Jednym z częstszych problemów są zaburzenia oddechowe. Jednakże w ich przypadku brak jest wyraźnie nakreślonych przyczyn, patomechanizmów, schematów diagnostycznych oraz protokołów postępowania. Pomimo wielu badań na temat definiowania zaburzeń oddechowych u tych pacjentów, teorii mechanicznych oraz fizjologicznych nie ma jednoznacznych dowodów na którąkolwiek z nich. W przeszłości próbowano wprowadzać wizualizację zaburzeń oddechowych poprzez obserwowanie mechaniki klatki piersiowej, jednak żadna z metod nie wyszła poza sferę badań naukowych. Brak popularyzacji metod obrazowania sprawia, że wyniki prezentowane przez autorów są efektem badań prowadzonych na niewielkiej grupie pacjentów, bez jakichkolwiek norm czy walidacji metod. Z uwagi na trudności metodologiczne powtarzalność badań na tych urządzeniach pozostaje wątpliwa. Jeżeli chodzi o protokoły postępowania i dobierane metody, również brakuje wyraźnych standardów odnośnie do czasu trwania terapii oraz metody, jak i okolicy zabiegowej. Dlatego też autorzy postanowili podejść do problemu kompleksowo.

Podstawowym celem badań było określenie i zdefiniowanie problemów oddechowych pacjentów z ZZSK. Celem drugorzędnym – próba odnalezienia okolic ciała mających największy negatywny wpływ na procesy oddychania. Kolejny cel stanowiło przetestowanie autorskiej metody terapeutycznej skoncentrowanej na zdefiniowanych okolicach z nieprawidłową mechaniką.

Postanowiono wykorzystać technologię 4DBODY do wizualizacji klatki piersiowej pacjenta i sprawdzenia użyteczności metody na tej płaszczyźnie działania. Wcześniej technologia ta była używana do wizualizacji ruchu, natomiast nigdy do oceny klatki piersiowej oraz oddychania. Wcześniejsze użycie technologii nie miało zastosowania klinicznego. Zaplanowano wytypowanie miejsca z zaburzoną mechaniką na podstawie wizualizacji klatki piersiowej, później, przy pomocy testów funkcjonalnych, zdefiniowanie problemu, a następnie wykonanie badania funkcjonalnego układu oddechowego, aby przeanalizować zależności zaburzeń mechanicznych i funkcjonalnych.

Po zdefiniowaniu zaburzeń mechaniki i skorelowaniu ich z zaburzeniami oddechowymi wyłoniono miejsca o największym stopniu dysfunkcji i największym wpływie klinicznym na układ oddechowy. Na tej podstawie postanowiono stworzyć program

usprawniania, który miał spowodować poprawę funkcji oddechowych. Celem badania była ocena skuteczności tego programu.

9. Materiał i metoda

Dokładna metodyka badania została opisana z załączonych pracach oryginalnych. W tym opracowaniu ujęto jedynie główne zagadnienia.

Do oceny wykorzystania technologii 4DBODY zakwalifikowano pacjentkę w wieku 34 lat, chorującą na ZZSK od 15 lat. Pacjentka posiadała typowe dla ZZSK ustawienie kręgosłupa oraz cechy kliniczne. Wykorzystano technologię 4DBODY (opisaną w artykule) i uzyskano wzorzec oddechowy uznany za nieprawidłowy. Zdefiniowano także miejsca, gdzie występowały zaburzenia (na podstawie wyniku badania), przeprowadzono terapię pilotażową, która objęła 10 wizyt terapeutycznych i koncentrowała się na terapii manualnej zlokalizowanej głównie w obszarze klatki piersiowej (zarówno techniki dla tkanek miękkich, jak i bierne mobilizacje stawowe). Po zakończonym turnusie usprawniającym ponownie wykonano badanie, a następnie porównano wyniki.

W celu wizualizacji nieprawidłowego wzorca, który potwierdzał patomechaniczne założenia teoretyczne, postanowiono zbadać większą populację pacjentów z ZZSK, aby wykluczyć jednostkowe zaburzenie oddechowe. Do badania włączono grupę 45 pacjentów z rozpoznaniem ZZSK, którzy zostali poinformowani o przebiegu badania, wyrazili zgodę na udział w nim i spełniali kryterium włączenia, żaden z nich nie spełniał kryterium wyłączenia. Badanie było zaopiniowane pozytywnie przez Komisję Bioetyczną przy Narodowym Instytucie Geriatrii, Reumatologii i Rehabilitacji (KBT-1/06/2019). Wszyscy pacjenci, którzy brali udział w badaniu, ukończyli je. W ramach badania przeprowadzono pletyzmografię w celu oceny funkcjonalnej układu oddechowego oraz badania funkcjonalne narządu ruchu (dokładna metodologia opisana w artykule), oceniono ruchomość kończyn górnych, ustawienie kręgosłupa oraz mechanikę klatki piersiowej. Na podstawie osiągniętych wyników przeprowadzono statystyczną korelację pomiędzy dysfunkcjami oddechowymi oraz ruchowymi.

Ocenionych 45 pacjentów losowo przydzielono do jednej z dwóch grup, w których poddano ich różnym programom terapii. Pierwsza z nich, licząca 25 pacjentów, poddana została usprawnianiu według autorskiej metody (Tabela 3), obszary mięśniowo-powięziowe były rozluźniane oraz rozciągane, obszary chrzęstno-stawowe były mobilizowane w kierunku największego ograniczenia ruchu. Druga grupa, licząca 20 pacjentów, została poddana kinezyterapii oddechowej ukierunkowanej na rozciąganie przykurczonych mięśni oddechowych oraz wzmacnianie osłabionych (dokładne opisy grup i metod w artykule). Po

dwóch tygodniach usprawniania wykonywano badania kontrolne, na podstawie których oceniono skuteczność obu zaproponowanych metod.

Tabela 3. Protokół pracy autorskiej metody.

Dzień	Obszar pracy
1.	Przedni obszar szyi (mięsień mostkowo-obończykowo-sutkowy, mięśnie podgnykowe oraz nadgnykowe, powięź przednia szyi).
2.	Obszar boczny oraz tylny szyi (mięśnie pochyłe, mięśnie czworoboczne oraz powięź karku).
3.	Okolice obojczyka (mięśnie podobojczykowe, mięśnie mostkowo-obończykowo-sutkowe, mięśnie piersiowe) oraz mobilizacje pierwszego żebra.
4.	Okolice mostka (powięź mostka, powięź piersiowa, mobilizacje stawów mostkowo-żebrowych).
5.	Okolica łopatek (mięśnie równoległoboczne, mięśnie obłe, mięsień zębaty przedni), prostownik grzbietu w okolicy piersiowej, przepona oddechowa.
6.	Okolica ramienia (mięśnie piersiowe, najszerszy grzbietu, naramienny oraz dwugłowy ramienia).
7.	Okolica kręgosłupa piersiowego (mobilizacje stawów międzypoprzecznych, mobilizacje więzadeł), przepona oddechowa.
8.	Okolica kręgosłupa piersiowego (mobilizacje stawów żebrowo-poprzecznych, mobilizacje mięśni międzyżebrowych oraz powięzi bocznej strony klatki piersiowej).
9.	Obszar przejścia szyjno-piersiowego oraz piersiowo-lędźwiowego (mobilizacje stawowe), odnogi przepony.
10.	Obszar przejścia szczytowo-potylicznego, mięśnie podpotyliczne.

10. Głównie wyniki pracy

Wykorzystanie technologii 4DBODY umożliwiło zaobserwowanie nieprawidłowości oddechowych, a także pokazało skuteczność terapii, nie tylko poprzez poprawę rozszerzalności klatki piersiowej, lecz również poprzez zmianę czasowo-przestrzenną aktywacji poszczególnych jej części. Przed rehabilitacją ruch mostka był wyraźnie opóźniony względem tylnej ściany klatki piersiowej, która pozostawała nadaktywna w stosunku do jej przodu. W warunkach prawidłowych proporcja ta winna być odwrócona, to mostek powinien rozpoczynać ruch jako pierwszy. Można przypuszczać, że jest to forma kompensacji wynikająca ze sztywności przedniej części klatki piersiowej. Po usprawnianiu mechanizm ten wyraźnie uległ zmianie. Znacznie wcześniej pojawiała się ruchomość w przedniej części klatki piersiowej, co powodowało poprawę płynności ruchu w jej tylnej części. Zaobserwowano również poprawę rozszerzalności klatki piersiowej z 18 mm do 27,9 mm (o 9,9 mm). Zmieniło się ustawienie kręgosłupa w odcinku lędźwiowym – z 33° do 22° (o 11°), piersiowym z 27° do 25° (o 2°) oraz szyjnym z 44° do 39° (o 5°). Terapia okazała się także skuteczna w poprawie funkcji oddechowych u badanej pacjentki. Poprawa MIP z 80% do 93% (o 13 p.p.), MEP z 46% do 86% (o 40 p.p.), Rtot z 59% do 67% (o 8 p.p.), FRC z 95% do 94% (o -1p.p.), RV z 47% do 69% (o 22 p.p.), TLC z 86% do 89% (o 3 p.p.)

Badanych 45 pacjentów z ZZSK wykazało znacząco niższe parametry oddechowe względem populacji zdrowej, odnośnie do parametrów MIP (85,5%), MEP (81%), sReff (60,5%), sRtot (80%), ERV (137% – zbyt wysoki wynik oznacza nadmiar powietrza zostający w płucach w trakcie wydechu), RV (93%), TLC (86%), VC (84,5%). Najbardziej obniżone okazały się parametry sReff oraz sRtot. U pacjentów wykazano również obniżenie parametrów funkcjonalnych wobec populacji zdrowej. Odległość potylicy od ściany 9±17cm (norma 0), zgięcie w prawej kończynie górnej 151±21°, w lewej 151±24° (norma 180°), odwodzenie w prawej kończynie górnej 148±21°, w lewej 147±29° (norma 180°), rozszerzalność klatki piersiowej 4±1,6cm (norma >6cm).

U pacjentów z ZZSK udało się zaobserwować pewne zależności posturalne i funkcjonalne. Test potylica-ściana silnie koreluje z wiekiem pacjenta ($r=0,41$) ($p<0,001$) oraz czasem trwania choroby ($r=0,47$) ($p<0,001$). Test ten wykazał znaczącą korelację pomiędzy ustawieniem kręgosłupa piersiowego ($r=-0,52$) ($p<0,001$) oraz szyjnego ($r=0,55$) ($p<0,001$). Ruchomość kończyn górnych także wykazała ujemną korelację pomiędzy wiekiem pacjenta ($r=-0,32$) ($p<0,001$), czasem trwania choroby ($r=-0,36$) ($p<0,001$) i ustawieniem kręgosłupa szyjnego ($r=-0,55$) ($p<0,001$) oraz piersiowego ($r=0,36$) ($p<0,001$). Ustawienie

kręgosłupa lędźwiowego było mocno skorelowane pozytywnie z ustawieniem kręgosłupa piersiowego ($r = 0,61$) ($p < 0,001$). Ustawienie odcinka szyjnego było skorelowane pozytywnie z wiekiem oraz czasem trwania choroby ($r = 0,34$) ($p < 0,001$). Czas trwania choroby okazał się niezmiennie wpływać na parametry oddechowe pacjenta, wiek pacjenta natomiast pozytywnie korelował z R_{tot} ($r = 0,31$) ($p < 0,001$) oraz ERV ($r = 0,34$) ($p < 0,001$). Test potylicy-ściana korelował ujemnie jedynie z parametrem TLC ($r = -0,37$) ($p < 0,001$). Rozszerzalność klatki piersiowej na poziomie czwartej przestrzeni międzyżebrowej korelowała znamienne z parametrami TLC ($r = 0,55$) ($p < 0,001$) oraz VCin ($r = 0,51$) ($p < 0,001$). Rozszerzalność klatki piersiowej na poziomie dziesiątej przestrzeni międzyżebrowej miała największy wpływ na siłę mięśni oddechowych MIP ($r = 0,32$), MEP ($r = 0,35$), ale również na parametr VCin ($r = 0,40$) ($p < 0,001$). Ustawienie kręgosłupa lędźwiowego miało nieznaczny pozytywny wpływ na parametry oddechowe, jedynie na parametr TLC w sposób znaczący ($r = 0,30$) ($p < 0,001$). Ustawienie kręgosłupa piersiowego wykazało największą ilość pozytywnych korelacji w stosunku do parametrów oddechowych, zarówno z mięśniami oddechowymi MEP ($r = 0,32$), jak również z oporami oskrzelowymi sReff ($r = 0,38$), R_{tot} ($r = 0,32$) oraz z całkowitą objętością oddechową TLC ($r = 0,35$) ($p < 0,001$). Ruchomość kończyn górnych okazała się zależna w stosunku do siły mięśni oddechowych MIP ($r = 0,33$), MEP ($r = 0,35$) ($p < 0,001$), oporów oskrzelowych sReff ($r = 0,39$) ($p < 0,001$), parametrów TLC ($r = 0,42$) ($p < 0,001$) oraz VCin ($r = 0,33$) ($p < 0,001$).

W wyniku terapii skoncentrowanej na obszarze klatki piersiowej zaobserwowano zmniejszenie odległości potylicy od ściany w teście potylicy-ściana z 9,5 cm do 7,8 cm (o 1,7 cm), zaś w grupie kontrolnej z 4 cm do 3,4 cm (o 0,6 cm), również rozszerzalność klatki piersiowej mierzona w jej górnym obszarze zwiększyła się z 3,7 cm do 6 cm (o 2,3 cm) w grupie badanej oraz z 4,2 cm do 5 cm (o 0,8 cm) w grupie kontrolnej. Rozszerzalność klatki piersiowej w dolnym aspekcie zwiększyła się z 4,7 cm do 6,9 cm (o 2,2 cm) w grupie badanej oraz z 4,7 cm do 5,5 cm (o 0,8 cm) w grupie kontrolnej. Ruchomość kończyny górnej zwiększyła się w zakresie zgięcia ze 147° do $159,7^\circ$ (o $12,7^\circ$) – kończyna górna prawa (KGP) w grupie badanej oraz ze $155,7^\circ$ do 160° (o $4,3^\circ$) w grupie kontrolnej. Kończyna górna lewa zwiększyła zakres ruchu w zakresie zgięcia ze 143° do $155,7^\circ$ (o $12,7^\circ$) w grupie badanej oraz ze $155,1^\circ$ do $156,9^\circ$ (o $1,8^\circ$) w grupie kontrolnej. Również ruch odwodzenia zwiększył swój zakres ze $144,2^\circ$ do $159,2^\circ$ (o 15°) KGP w grupie badanej oraz ze $159,9^\circ$ do $163,2^\circ$ (o $3,3^\circ$) w grupie kontrolnej. Ruch odwodzenia w kończynie górnej lewej uległ zwiększeniu z $138,8^\circ$ do $154,8^\circ$ (o 16°) w grupie badanej oraz z $157,3^\circ$ do $159,5^\circ$ (o $2,2^\circ$) w grupie kontrolnej. Zmianie uległo również ustawienie kręgosłupa szyjnego z 53° do $49,3^\circ$ (o $3,7^\circ$) w grupie

badanej oraz z 51,8° do 49° (o 2,8°) w grupie kontrolnej. Zmiana w grupie badanej okazała się istotna statystycznie ($p < 0,05$), natomiast w grupie kontrolnej nieistotna statystycznie ($p > 0,05$). Zmianie uległo również ustawienie kręgosłupa w odcinku piersiowym z 26,5° do 24,9° (o 3,7°) w grupie badanej oraz z 27,3 do 27,4 (o 0,1°) w grupie kontrolnej. W odcinku lędźwiowym zmiana z 13,7° do 12,4° (o 1,3°) w grupie badanej oraz z 11° do 11,5° (o 0,5°) w grupie kontrolnej. Zmiany ustawienia kręgosłupa piersiowego oraz lędźwiowego okazały się nieistotne statystycznie w obu grupach. Subiektywna ocena stanu funkcjonalnego wyrażona kwestionariuszami BASDAI, BASFI, PDI uległa znaczącej poprawie. Ocena subiektywnego stanu funkcjonalnego wyrażona kwestionariuszem BASDAI w grupie badanej uległa poprawie z 3,53 do 2,28 (o 1,25) oraz w grupie kontrolnej z 3,44 do 3,01 (o 0,43). W kwestionariuszu BASAFI pacjenci z grupy badanej wykazali poprawę stanu funkcjonalnego z 3,42 do 0,80 (o 2,62), pacjenci z grupy kontrolnej z 2,92 do 2,66 (o 0,26). W kwestionariuszu PDI pacjenci z grupy badanej wykazali poprawę z 2,82 do 1,87 (o 0,95), pacjenci z grupy kontrolnej wykazali poprawę z 2,74 do 2,46 (o 0,28). Poprawa w grupie kontrolnej była nieistotna statystycznie. Pacjenci w obu grupach zgłosili również redukcję dolegliwości bólowych wyrażonych skalą VAS. W grupie badanej z 3,76 do 2,08 (o 1,68) oraz w grupie kontrolnej z 3,85 do 3,3 (o 0,55). W grupie badanej jedynie parametry MIP oraz MEP wykazały istotną statystycznie zmianę. Siła mięśni wdechowych MIP uległa zwiększeniu z 82% do 100% (o 18 p.p.). Siła mięśni wydechowych ulegała zwiększeniu z 85% do 99% (o 14 p.p.). W grupie kontrolnej jedynie poprawa siły mięśni wdechowych okazała się istotna statystycznie – z 77% do 89% (o 12 p.p.). Zmiany w pozostałych badanych parametrach oddechowych (sReff, sRtot, FRC, ERV, RV, TLC, VC) ujawniły się jako nieistotne statystycznie w obu badanych grupach.

11. Dyskusja

Zaburzenia mechaniki oddychania są bardzo istotnym problemem u pacjentów z zeszytniającym zapaleniem stawów kręgosłupa. Metoda 4DBODY okazała się skutecznym narzędziem zarówno w diagnozowaniu dysfunkcji klatki piersiowej, jak i w monitorowaniu procesu terapeutycznego. Wykorzystanie technologii umożliwiło zaobserwowanie nieprawidłowości oddechowych, a także pokazało skuteczność terapii, nie tylko poprzez poprawę rozszerzalności klatki piersiowej, ale także poprzez zmianę czasowo-przestrzenną aktywacji poszczególnych jej części, co jest niemożliwe do uzyskania zarówno w ramach tradycyjnych metod pomiarowych, jak i przy użyciu nowoczesnych technologii. Urządzenie 4DBODY wydaje się mieć przewagę nad innymi urządzeniami pomiarowymi, którą daje mu brak konieczności naklejania markerów na ciało pacjenta, co nie tylko redukuje koszty prowadzenia badań, ale również zmniejsza szansę na błąd pomiarowy wynikający z niskiej powtarzalności klejenia markerów na ciele pacjenta.

Urządzenie RMMI posiada pewne wady. Dokonanie pomiarów jest możliwe jedynie w podparciu na plecach, co zmienia mechanikę oddychania z uwagi na wyłączenie tylnej strony klatki piersiowej z mechaniki oddechowej i dodatkowo zwiększa częstotliwość oddychania torem brzuszny. Urządzenie bada wyłącznie zmianę wymiaru strzałkowego klatki piersiowej, a co za tym idzie – jedynie jej rozszerzalność przednio-tylną, ponadto w leżeniu na plecach, co dodatkowo ogranicza jej wymiar. Biomechanicznie oddychanie jest trójwymiarowym ruchem klatki piersiowej. Pomiar wykonywany RMMI mierzy jedynie jeden z komponentów oddechowych [24-27].

Pletyzmografia optoelektroniczna – do wad tej metody zaliczamy ogromny koszt urządzenia, technologia wymaga dużej powierzchni do instalacji kamer, znaczną ilość markerów, których umiejscowienie jest czasochłonne, trudność z precyzją naklejania markerów oraz powtarzalnością ich aplikacji. Co więcej, w trakcie ruchu pacjenta markery zmieniają swoje położenie poza cyklem oddechowym, co może wpływać na wyniki pomiarowe. Urządzenia są bardzo wrażliwe na zmiany położenia, przez co problem stanowi kalibracja, a także każdorazowe ich czyszczenie – kamery są bardzo podatne na zabrudzenia. Markery powinny być wymieniane przy każdym badaniu, przez co badanie tego samego pacjenta dwa razy to koszt prawie 200 markerów. Trudność stanowi również budowa ciała pacjenta – u osób otyłych lub u pacjentek o dużym biuście linie referencyjne dla markerów ulegają zmianie, przez co standaryzacja jest bardzo trudna [28-34].

Kamery na podczerwień – korzystanie z tej technologii obarczone jest niestety wieloma czynnikami zakłócającymi. Artefakty ruchowe związane z mechaniką pacjenta powodują zaburzenia odbijania światła. Zanieczyszczenie powietrza różnicami temperaturowymi i wilgotność powietrza są czynnikami, które w dużym stopniu zaburzają powtarzalność badań i mogą wpływać na wyniki [37].

System ELITE – wadą tej metody jest naklejanie znaczników na ciele pacjenta, przez co trudno o powtarzalność, a także o precyzję ich umiejscowienia. System mierzy bowiem jedynie optycznie przesunięcia znaczników, na skutek czego otrzymywane informacje bardziej dotyczą kierunku zmiany ruchu (czujniki na klatce piersiowej bardziej niż ruchy mechaniczne mostka wyczuwają przesunięcia góra-dół oraz bardziej niż ruchy żeber przesunięcia na boki, natomiast w obrębie brzucha analizują głównie ruchy okalające, wynikające z przesunięć markerów przód-tył, związanych z pracą mięśni brzucha w trakcie oddechu) [38, 39].

Z dostępnej literatury wynika, że u pacjentów z ZZSK obserwowano niższe parametry oddechowe w porównaniu z populacją osób zdrowych. Obniżeniu ulegały parametry: TLC, Raw, VC, FVC, MIP, MEP, PFT [60-62]. Podobnie w badaniach własnych u większości pacjentów odnotowywano obniżenie większości badanych parametrów: MIP, MEP, sReff, sRtot, FRC, RV, TLC, VC. W literaturze odnajdujemy pewne zależności posturalne i funkcjonalne odnośnie do testu potylica-ściana [20, 21], ruchomości kończyn górnych [51-56], ustawienia kręgosłupa [102-106], podobne zależności udało się zaobserwować również w badaniach własnych. Test potylica-ściana silnie koreluje z wiekiem pacjenta oraz czasem trwania choroby [56], sugeruje to postępujący charakter choroby, który prowadzi do coraz większych dysfunkcji, a w konsekwencji niepełnosprawności pacjenta. Test ten wykazał również znaczącą korelację pomiędzy ustawieniem kręgosłupa piersiowego oraz szyjnego [20, 21]. Zwiększenie kifozy piersiowej powoduje przesunięcie trzonów kręgowych górnego odcinka piersiowego kręgosłupa oraz szyjnego odcinka kręgosłupa, co powoduje wysunięcie głowy w przód i zwiększenie odległości głowy od ściany. Tożsame wyniki uzyskano w badaniach własnych. Ruchomość kończyn górnych również wykazuje ujemną korelację pomiędzy wiekiem pacjenta a czasem trwania choroby [56]. Rozwój choroby powoduje upośledzenie ruchomości w dużych stawach, w tym w stawach ramiennopodkoleńkowych, przez co im dłużej trwa proces choroby, tym większa szansa, że również stawy obręczy kończyny górnej zostaną zajęte procesem chorobowym. Z kolei to spowoduje zmniejszenie ich zdolności mechanicznych, prowadząc do zmniejszenia zakresu ruchu. Obręcz kończyny górnej koreluje również z ustawieniem kręgosłupa szyjnego [101],

w wyniku protrakcji głowy dochodzi do obniżenia obręczy kończyny górnej, co prowadzi do ograniczenia ruchomości w stawach ramiennie-łopatkowych. Podobne zależności wykazano w badaniach własnych. Również odcinek piersiowy wykazuje zależność w stosunku do kończyny górnej [51, 52, 54, 102]. Hiperkifotyczne ustawienie kręgosłupa piersiowego powoduje odsunięcie łopatek od linii kręgosłupowej, co prowadzi do upośledzenia ich funkcji. W wyniku tego mechanika kończyny górnej nie może odbywać się w prawidłowych warunkach, co prowadzi do ograniczenia ruchomości w stawie [101]. Sugeruje to postępujący charakter dysfunkcji tego obszaru wraz z rozwojem choroby, a także silne znaczenie obszaru klatki piersiowej w mechanice kończyny górnej. W badaniach własnych również uzyskano korelację pomiędzy czasem trwania choroby, ustawieniem kręgosłupa piersiowego a ruchomością kończyny górnej, natomiast wiek pacjenta oraz ustawienie odcinka szyjnego słabo korelowało jedynie z jednym badanym parametrem kończyny górnej. Badania Jang i wsp. [103] oraz Lee i wsp. [104] pokazują korelację występującą pomiędzy ustawieniem kręgosłupa piersiowego oraz lędźwiowego. Trzony kręgów są ustawione klinowo na sobie, dlatego zmiana ustawienia trzonów kręgowych w odcinku lędźwiowym kręgosłupa będzie wymuszała zmianę ustawienia w odcinku piersiowym kręgosłupa. Podobne rezultaty osiągnięto w badaniach własnych, gdzie korelacja wykazała silną zależność ($r=0,61$), jednakże badania Hardacker i wsp. [105] oraz Gupta i wsp. [106] takiej zależności nie potwierdziły. Wiek pacjenta, a także czas trwania choroby mocno oddziałują na ustawienie odcinka szyjnego kręgosłupa [56]. Postępujący charakter choroby nie tylko wpływa na postawę pacjenta, ale również ogranicza rozszerzalność jego klatki piersiowej [20]. Postępująca protrakcja głowy powoduje usztywnienie górnego obszaru klatki piersiowej, przez co mostek oraz obojczyki nie pozwalają na ruch przednio-górny żeber, czym mocno upośledzają możliwości rozszerzalności klatki piersiowej. Podobne wyniki uzyskano w badaniach własnych, z tą różnicą, że nie wykazano żadnej zależności pomiędzy ustawieniem odcinka szyjnego a rozszerzalnością klatki piersiowej. Jednakże badania Wirth i wsp. [107] taką zależność u pacjentów z przewlekłym bólem odcinka szyjnego kręgosłupa ujawniły. Zgodnie z przypuszczeniami wiek pacjenta oraz czas trwania choroby korelują z kilkoma parametrami mechanicznymi, dlatego stan funkcjonalny pacjentów z roku na rok staje się coraz gorszy. W badaniach własnych czas trwania choroby okazał się nie mieć żadnego wpływu na parametry oddechowe pacjenta, co sugeruje bardziej mechaniczny niż fizjologiczny aspekt dysfunkcji układu oddechowego. Jednakże w badaniach Maksymowych i wsp. [56] oraz Felelius i wsp. [60] taka zależność wystąpiła. W literaturze wiele jest doniesień na temat korelacji pomiędzy parametrami funkcjonalnymi a oddechowymi [56-60].

Zaobserwowano zależność między sztywnością klatki piersiowej, jej rozszerzalnością a siłą mięśni oddechowych (MIP, MEP) [58]. W wyniku ograniczonych możliwości ruchowych mięśnie międzyżebrowe, odpowiedzialne głównie za siłę mięśni oddechowych, mają ograniczone możliwości pracy, przez co stają się słabsze i nie są w stanie generować odpowiednio wysokiego ciśnienia wewnątrz klatki piersiowej. Wiek pacjenta natomiast korelował z parametrami R_{tot} oraz ERV [60]. Tożsamy wynik zaobserwowano w badaniach własnych. Test potylica-ściana koreluje jedynie z parametrem TLC w badaniach własnych, nie udało się jednak znaleźć podobnej zależności w literaturze. Rozszerzalność klatki piersiowej wykazała zależność w stosunku do parametrów TLC oraz VC_{in} [22, 56, 109]. W literaturze rozszerzalność klatki piersiowej bywa mierzona w różny sposób. Niektórzy autorzy podają ten parametr jako całość [22, 56, 109], inni natomiast dokonują pomiarów na różnych wysokościach, w zależności od biomechaniki oddechu [2, 58, 60]. Pomiar wykonywany na poziomie czwartej przestrzeni międzyżebrowej ma bardzo dużą zależność w stosunku do parametrów TLC oraz VC_{in} [58]. Możliwości rozszerzalności klatki piersiowej są przede wszystkim odpowiedzialne za ilość powietrza, jaka może dostać się do płuc, stąd korelacja zarówno z parametrami TLC, jak i VC_{in} . Podobne zależności zaobserwowano w badaniach własnych. Rozszerzalność klatki piersiowej na poziomie dziesiątej przestrzeni międzyżebrowej ma największy wpływ na siłę mięśni oddechowych (MIP, MEP) [2], ale również na parametr VC_{in} [60]. W badaniach własnych zaobserwowano zależność pomiędzy siłą mięśni oddechowych a rozszerzalnością klatki piersiowej w jej dolnej części, co sugeruje istotną rolę przepony jako mięśnia oddechowego. Ustawienie kręgosłupa piersiowego wykazało zależność zarówno z pracą mięśni oddechowych (MIP, MEP), jak i z oporami oskrzelowymi ($sReff$, sR_{tot}) oraz z całkowitą objętością oddechową (TLC) [107]. Tożsame wyniki odnajdujemy w badaniach własnych. Wydaje się, że górna część klatki piersiowej ma większy wpływ na jej objętość, natomiast dolna część, z uwagi na umiejscowienie przepony, ma większy wpływ na siłę mięśni oddechowych. Z punktu widzenia ilości korelacji pomiędzy tym obszarem a parametrami oddechowymi wydaje się to kluczowy obszar do pracy w celu poprawy stanu funkcjonalnego oraz oddechowego pacjentów z ZZSK. Ustawienie kręgosłupa lędźwiowego nieznacznie oddziałuje na parametry oddechowe, jedynie na parametr TLC [59]. W badaniach własnych zaobserwowano tę samą zależność. Ustawienie kręgosłupa szyjnego nie miało żadnego wpływu na wartości parametrów oddechowych. Nie udało się również odnaleźć takich zależności w literaturze. Natomiast ruchomość kończyn górnych w badaniach własnych okazała się zależna od siły mięśni oddechowych (MIP, MEP), oporów oskrzelowych ($sReff$) oraz parametrów TLC

i VCin. W literaturze odnajdujemy podobne zależności w innych chorobach. W dystrofii Duchenna [110] wykazano zależność pomiędzy siłą kończyny górnej a parametrami MIP, MEP, FVC. W przewlekłej obturacyjnej chorobie płuc –między siłą kończyny górnej a FVC, FEV1 [111], MIP, MEP [112]. W literaturze nie udało się odnaleźć doniesień dotyczących zależności pomiędzy ruchomością kończyny górnej a parametrami oddechowymi u pacjentów z ZZSK.

Terapia manualna to powszechnie znana forma usprawniania pacjentów z ZZSK [72-74, 77-82, 108], jednakże jej zastosowanie w rehabilitacji oddechowej tych pacjentów jest rzadkie [68-71], pomimo bardzo dobrych rezultatów [72, 73]. Do terapii manualnej możemy zaliczyć techniki tkanek miękkich, których skuteczność w terapii ZZSK jest większa niż tradycyjnej kinezyterapii [72, 73, 108], oraz manualne mobilizacje stawowe, których efektywność również została potwierdzona we wszystkich największych szkołach terapii manualnej [74-77], a nawet okazała się skuteczniejsza od klasycznej rehabilitacji ruchowej [78, 79, 108]. Przewagę nowoczesnych metod terapeutycznych potwierdza wiele badań [80, 81, 108]. Stosowanie terapii manualnej wydaje się bardzo dobrym rozwiązaniem z uwagi na mnogość pozytywnych efektów, takich jak poprawa parametrów funkcjonalnych [80, 81, 108]. Terapia manualna poprawia ruchomość kręgosłupa u pacjentów z ZZSK [73, 79] Oddziaływanie terapeutyczne skoncentrowane na obszarze klatki piersiowej powoduje zmniejszenie hiperkifozy kręgosłupa piersiowego [75, 108] w wyniku poprawy wyprostu w tym odcinku, również rozszerzalność klatki piersiowej ulega zwiększeniu [79, 108] dzięki poprawie elastyczności połączeń żebrowo-kręgowych, zmniejsza się odległość potylicy od ściany w teście potyllica-ściana [75]. Dzięki zmianom w obrębie klatki piersiowej oraz zależnościom pomiędzy jej ustawieniem a mechaniką obręczy kończyny górnej [51, 58] zakresy ruchu w kończynie górnej ulegają poprawie [81]. Subiektywna ocena swojego stanu funkcjonalnego w trakcie usprawniania manualnego, wyrażona kwestionariuszami BASDAI, BASFI, PDI, ulega znaczącej poprawie. Poziom bólu wyrażonego kwestionariuszem VAS również uległ obniżeniu [73, 78]. Podobne rezultaty zostały osiągnięte w pracy własnej. Poprawie uległa także siła mięśni oddechowych [108].

W badaniach własnych w trakcie usprawniania manualnego udało się poprawić parametry funkcjonalne u pacjentów z ZZSK – zarówno rozszerzalność klatki piersiowej, ruchomość kończyn górnych, odległość potylicy od ściany, jak i wyjściowe ustawienie kręgosłupa. Mimo że badania pokazały korelację pomiędzy wymienionymi parametrami, a parametrami oddechowymi, nie udało się uzyskać istotnych statystycznie zmian w funkcjonalnych parametrach oddechowych. Efekt terapeutyczny względem funkcji

oddechowych wydaje się niewielki. Nieznaczące efekty osiągnięto w badaniach Günay i wsp. [64], Drăgoi i wsp. [82], So i wsp. [85], Calik i wsp. [91]. W innych badaniach Durmuş i wsp. [86], Gonzalez-Medina i wsp. [87], Fernández-de-Las-Peñas i wsp. [88] badający osiągnęli jednak zupełnie przeciwne wyniki. W wymienionych pracach czas trwania terapii był inny, dlatego ciężko jest o jednoznaczne wnioski na temat ich skuteczności względem parametrów oddechowych. W badaniach własnych jedynie siła mięśni oddechowych wykazała istotną poprawę. W literaturze poprawa funkcji oddechowych jest niejednoznaczna. Część autorów odnotowuje uzyskanie poprawy [64, 82, 85, 91], pozostali zaś jej nie dostrzegają [86-88]. W odniesieniu do innych zaburzeń w układzie oddechowym wyniki również są różnorodne. W przypadku stosowania terapii manualnej u pacjentów z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc (POChP) wyniki są niejednoznaczne. Badania Yilmaz Yelvar i wsp. [114] wykazują istotną statystycznie poprawę w zakresie parametrów oddechowych (FEV1, FVC, VC) oraz siły mięśni oddechowych (MIP, MEP) tuż po sesji terapii manualnej u pacjentów z POChP. Również badania Cruz-Montecinos i wsp. [118] wykazały błyskawiczną poprawę parametrów oddechowych u tych pacjentów. Podobne wyniki uzyskano w badaniach Roger i wsp. [120]. Poza błyskawicznymi efektami po terapii, badania Engel i wsp. [119] wykazują również średnioterminowe efekty pracy manualnej u pacjentów z POChP. Jednakże badania Noll i wsp. [121] nie tylko nie potwierdzają efektów terapeutycznych, ale jeszcze dowodzą pogorszenia parametrów oddechowych po takiej terapii. Efekt terapeutyczny, który jest opisywany, pozostaje wątpliwy z uwagi na słabość dowodów naukowych. Metaanaliza Heneghan i wsp. [113] oraz Forner-Álvarez i wsp. [122] pokazuje brak jednoznacznych dowodów na skuteczność tej metody pracy u pacjentów z POChP. Również przegląd systematyczny Roh i wsp. [116] podaje w wątpliwość skuteczność terapii manualnej w tej grupie pacjentów. W przypadku pacjentów z astmą oskrzelową badania Rosalba Courtney i wsp. [115] wykazały nieskuteczność manualnej pracy w celu poprawy funkcji oddechowych. Również badania na osobach zdrowych wykazują brak skuteczności terapii manualnej na poprawę parametrów oddechowych [117]. Użyteczność terapii manualnej w kontekście poprawy parametrów oddechowych wydaje się zatem wątpliwa. Brak jednoznacznych dowodów na skuteczność tej metody w interesującym nas obszarze. Zarówno u pacjentów zdrowych, pacjentów z ZZSK, POChP, jak i u pacjentów astmatycznych brak jakichkolwiek dowodów na poprawę funkcji oddechowych. Nieliczne badania, w tym badania własne, pokazują jednak wpływ na poprawę siły mięśni oddechowych (MIP, MEP). Ponadto terapia manualna okazuje się wysoce skuteczna w poprawie parametrów funkcjonalnych w tej grupie pacjentów. Pomimo wielu zależności pomiędzy układem ruchu i układem

oddechowym poprawa parametrów funkcjonalnych nie korelowała z poprawą funkcji oddechowych. Większość badań była prowadzona w niedługim czasie obserwacyjnym, być może adaptacje na poziomie układu oddechowego wymagają dłuższego czasu na dostosowanie się do nowych warunków biomechanicznych. Inne metody terapeutyczne osiągały również bardzo różne rezultaty. Ćwiczenia aerobowe w wodzie poprawiły ruchomość odcinka szyjnego kręgosłupa, odległość potylicy od ściany (ustawienie kręgosłupa piersiowego), rozszerzalność klatki piersiowej (FEV1 – *forced expiratory volume in 1 second*, FVC – *forced vital capacity*, VC) [65]. Ćwiczenia aerobowe w postaci spacerów wpłynęły na zwiększenie ruchomości odcinka szyjnego kręgosłupa i zmniejszenie odległości potylicy od ściany (ustawienie kręgosłupa piersiowego), rozszerzalność klatki piersiowej [96] (FEV1, FVC, VC) [65]. Ćwiczenia na bieżni wpłynęły na poprawę siły mięśni oddechowych (MIP, MEP) [91]. Ćwiczenia oddechowe poprawiły parametry oddechowe (FVC, FEV1, VC) [82, 85, 98] oraz rozszerzalność klatki piersiowej [82, 98], a także siłę mięśni oddechowych (MIP, MEP) [99, 100]. Ćwiczenia rozciągające również przybierały zróżnicowany charakter, najczęściej prowadzone były w formie stretchingu poszczególnych grup mięśniowych [65, 91, 96], czasami jako rozciąganie statyczne [97] lub poizometryczna relaksacja mięśniowa [73], również jako ćwiczenia rozciągające w wodzie [96, 97]. Ćwiczenia rozciągające poprawiały siłę mięśni oddechowych (MIP, MEP) [91], rozszerzalność klatki piersiowej [81, 92] oraz wynik testu potylicy-ściana [92], ruchomość kręgosłupa [96], a także parametry oddechowe (FVC, FEV1, VC) [66, 86]. Nie udało się uzyskać takich rezultatów w badaniach własnych w grupie kontrolnej, która skoncentrowana była na kinezyterapii w formie ćwiczeń rozciągających przykurczone partie mięśniowe. Poprawie uległy rozszerzalność klatki piersiowej, test potylicy-ściana, ustawienie kręgosłupa, natomiast spośród parametrów oddechowych poprawie uległa jedynie siła mięśni oddechowych MIP. Ćwiczenia rozciągające w wodzie wpłynęły na zwiększenie ruchomości kręgosłupa [96, 97] i rozszerzalności klatki piersiowej [96]. Istotny wydaje się czas prowadzenia terapii, który podczas prowadzenia usprawniania bywa różny (2–24 tygodni), dlatego obiektywna ocena skuteczności poszczególnych badań jest niemożliwa do przeprowadzenia. W badaniach, gdzie udało się uzyskać istotną poprawę, czas prowadzenia usprawniania wynosił co najmniej 16 tygodni, a w badaniach własnych czas prowadzenia usprawniania obejmował jedynie dwa tygodnie, co stanowi znaczące ograniczenie.

12. Wnioski

- 1) Technologia 4DBODY okazała się skutecznym narzędziem diagnostycznym w zaburzeniach mechanicznych klatki piersiowej.
- 2) Technologia 4DBODY okazała się skuteczna w monitorowaniu postępów rehabilitacyjnych pacjenta z zaburzeniami oddechowymi.
- 3) Pacjenci z ZZSK mają istotnie statystycznie niższe parametry oddechowe w stosunku do populacji zdrowej.
- 4) Pacjenci z ZZSK mają istotnie niższe wyniki funkcjonalnych testów oceniających sprawność obręczy kończyny górnej, klatki piersiowej oraz kręgosłupa.
- 5) Parametry funkcjonalne, oceniające sprawność obręczy kończyny górnej, klatkę piersiową oraz kręgosłup, znacząco korelują z układem oddechowym.
- 6) Prowadzenie fizjoterapii istotnie poprawia stan funkcjonalny pacjentów z ZZSK.
- 7) Prowadzenie fizjoterapii istotnie poprawia siłę mięśni oddechowych.
- 8) Poprawa funkcjonalnych parametrów oddechowych była nieistotna statystycznie w proponowanej formie usprawniania w obu grupach.
- 9) Autorski program usprawniania okazał się bardzo skuteczną metodą pracy z pacjentami z ZZSK na poziomie funkcji pacjenta.
- 10) Autorski program okazał się nieskuteczny na poziomie poprawy parametrów oddechowych pacjentów.

13. Połączenie pracy w całość

Wszystkie trzy publikacje są ze sobą powiązane i każda kolejna wynika z poprzedniej. Pierwsza praca – *The 4DBODY system as a new tool for chest mobility assessment in patients with ankylosing spondylitis* – zakładała stworzenie komputerowego modelu klatki piersiowej, dzięki któremu udało się zaobserwować nieprawidłowości w jej funkcjonowaniu i potwierdzić je w sposób obiektywny. Dzięki tej pracy potwierdziły się pewne biomechaniczne założenia na temat zaburzeń mechaniki oddechowej wynikających z niepoprawności mechaniki kręgosłupa i klatki piersiowej. Dzięki technologii 4DBODY udało się zaobserwować i rozpoznać problemy oddechowe. Na podstawie tego modelu stworzono model terapeutyczny, który okazał się bardzo skuteczny u badanej pacjentki.

Jednakże praca wymagała rozszerzenia na większą grupę badaną, dlatego kontynuowano pracę z kolejnymi pacjentami, dzięki czemu powstała kolejna publikacja – *Is there a connection between spine alignment, chest mobility, shoulder joint and respiratory parameters of patients with ankylosing spondylitis?*. W pracy tej podjęto próbę potwierdzenia dysfunkcji zaobserwowanych przy użyciu technologii 4DBODY z testami funkcjonalnymi dedykowanymi obszarom problematycznym określonym w trakcie wizualizacji komputerowej. Artykuł nie tylko potwierdził dysfunkcje funkcjonalne, ale przy użyciu pletyzmografii pozwolił na określenie, która z nich najmocniej wpływa na układ oddechowy. Po zdefiniowaniu problemów mechanicznych klatki piersiowej oraz zbadaniu, które z nich najmocniej wpływają na układ oddechowy, powstał autorski model usprawniania uwzględniający w szczególności sposób w/w dysfunkcje.

Opracowany program wymagał oceny jego skuteczności, w związku z czym powstała trzecia praca – *Influence of Manual Therapy and Stretching Exercises on Mobility Status and Pulmonary Function Tests Among Patients with Ankylosing Spondylitis*. W tej publikacji potwierdzono użyteczność i skuteczność zaproponowanego przez autorów schematu postępowania terapeutycznego.

Połączenie tych trzech prac jest logiczną całością, która umożliwiła nie tylko określenie problemów pacjenta chorującego na ZZSK, wykorzystanie nowego narzędzia diagnostycznego, ale również zaproponowała schemat postępowania, który okazał się bardzo skuteczny.

14. Piśmiennictwo

- [1] Braun J., Sieper J., *Ankylosing spondylitis*, „Lancet”, 2007 Apr 21; nr 369 (9570): s. 1379-1390. doi: 10.1016/S0140-6736(07)60635-7. PMID: 17448825.
- [2] Heuft-Dorenbosch L., Vosse D., Landewé R., Spoorenberg A., Dougados M., Mielants H., van der Tempel H., van der Linden S., van der Heijde D., *Measurement of spinal mobility in ankylosing spondylitis: comparison of occiput-to-wall and tragus-to-wall distance*. J Rheumatol, 2004 Sep; nr 31(9): 1779-84. PMID: 15338500.
- [3] Kuncewicz E., Gajewska E., Sobieska M., Atarowska M., Samborski W., *Fizjoterapia w zesztywniającym zapaleniu stawów kręgosłupa*, „Balneologia Polska”, nr (4) 2006: s. 207-210.
- [4] Dean L.E. Jones GT, MacDonald AG, Downham C, Sturrock RD, Macfarlane GJ, *Global prevalence of ankylosing spondylitis*. „Rheumatology” (Oxford), 2014 Apr; nr 53(4): 650-7. doi: 10.1093/rheumatology/ket387. Epub 2013 Dec 9. PMID: 24324212
- [5] van der Horst-Bruinsma I.E., Zack DJ, Szumski A, Koenig AS, *Female patients with ankylosing spondylitis: analysis of the impact of gender across treatment studies*, Ann Rheum Dis., 2013 Jul; nr 72(7): 1221-4. doi: 10.1136/annrheumdis-2012-202431. Epub 2012 Dec 22. PMID: 23264358.
- [6] Zhu W., He X, Cheng K, et al., *Ankylosing spondylitis: etiology, pathogenesis, and treatments*. Bone Res, 2019; nr 7: s. 22, DOI:10.1038/s41413-019-0057-8.
- [7] Canbay O., Kose E, Oner Z, et al., *An evaluation of spinal deformities and quality of life of male patients with ankylosing spondylitis*, J Turgut Ozal Med Cent 2014; nr 21: s. 0101–0105.
- [8] Davis J.C., *Ankylosing spondylitis*, Klippel J.H., Stone J.H., Crofford L.J., White P.H., eds., „Primer on the Rheumatic Diseases”, 13th ed. New York, NY: Springer (2008): 209-32.
- [9] Głuszko P., *Effects of biologic antirheumatic treatments on bone metabolism in rheumatoid arthritis and ankylosing spondylitis*, „Endokrynologia Polska”, nr 60.2 (2009): s. 115-121.
- [10] Raychaudhuri S.P., Deodhar A., *The classification and diagnostic criteria of ankylosing spondylitis*, J Autoimmun, 2014 Feb-Mar; s. 48-49: 128-33. doi: 10.1016/j.jaut.2014.01.015. Epub 2014 Feb 16. PMID: 24534717.
- [11] Chaitow L., Dinah B., Christopher G. *Recognizing and Treating Breathing Disorders: A Multidisciplinary Approach*, Second edition, Edinburgh: Churchill Livingstone, 2014. Print

- [12] Yuksekkaya R., Almus F, Celikyay F, Celikel S, Inanir A, Almus E, Ozmen Z. *Pulmonary involvement in ankylosing spondylitis assessed by multidetector computed tomography*. Pol J Radiol., 2014 Jun 23; nr 79:156-63. doi: 10.12659/PJR.889850. PMID: 24971158; PMCID: PMC4070990.
- [13] Brambila-Tapia A.J., Rocha-Muñoz AD, Gonzalez-Lopez L, et al. *Pulmonary function in ankylosing spondylitis: association with clinical variables*. Rheumatol Int., 2013 Sep; nr 33(9): 2351-8. doi: 10.1007/s00296-013-2723-2. Epub 2013 Mar 30. PMID: 23543327.
- [14] van der Esch M., van 't Hul AJ, Heijmans M, Dekker J. *Respiratory muscle performance as a possible determinant of exercise capacity in patients with ankylosing spondylitis*. Aust J Physiother, 2004; nr 50(1): 41-5. doi: 10.1016/s0004-9514(14)60247-6. PMID: 14987191.
- [15] Donath J., Miller A., *Restrictive chest wall disorders*, Semin Respir Crit Care Med., 2009 Jun; nr 30(3): 275-92. doi: 10.1055/s-0029-1222441. Epub 2009 May 18. PMID: 19452388.
- [16] Reddy R.S., Alahmari KA, Silvian PS, Ahmad IA, Kakarparthi VN, Rengaramanujam K. *Reliability of Chest Wall Mobility and Its Correlation with Lung Functions in Healthy Nonsmokers, Healthy Smokers, and Patients with COPD*, Can Respir J., 2019 Feb 25; 2019:5175949. doi: 10.1155/2019/5175949. PMID: 30931074; PMCID: PMC6410441.
- [17] Lanza Fde C., de Camargo AA, Archija LR, Selman JP, Malaguti C, Dal Corso S. *Chest wall mobility is related to respiratory muscle strength and lung volumes in healthy subjects*. Respir Care., 2013 Dec; nr 58(12): 2107-12. doi: 10.4187/respcare.02415. Epub 2013 May 14. PMID: 23674814.
- [18] Romberg K., Fagevik Olsén M, Kjellby-Wendt G, Lofdahl Hallerman K, Danielsson A *Thoracic mobility and its relation to pulmonary function and rib-cage deformity in patients with early onset idiopathic scoliosis: a long-term follow-up*, Spine Deform., 2020 Apr; nr 8(2): s. 257-268. doi: 10.1007/s43390-019-00018-y. Epub 2020 Feb 19. PMID: 32077084.
- [19] Berdal G., Halvorsen S, van der Heijde D, Mowe M, Dagfinrud H. *Restrictive pulmonary function is more prevalent in patients with ankylosing spondylitis than in matched population controls and is associated with impaired spinal mobility: a comparative study*, Arthritis Res Ther., 2012 Jan 25; nr 14(1): R19. doi: 10.1186/ar3699. PMID: 22277377; PMCID: PMC3392810.
- [20] Romagnoli I, Gigliotti F, Galarducci A, Lanini B, Bianchi R, Cammelli D, Scano G. *Chest wall kinematics and respiratory muscle action in ankylosing spondylitis patients*. Eur Respir J. 2004 Sep;24(3):453-60. doi: 10.1183/09031936.04.00123903. PMID: 15358706.
- [21] Vosse D, van der Heijde D, Landewé R, Geusens P, Mielants H, Dougados M, van der Linden S. *Determinants of hyperkyphosis in patients with ankylosing spondylitis*. Ann Rheum

Dis. 2006 Jun;65(6):770-4. doi: 10.1136/ard.2005.044081. Epub 2005 Oct 11. PMID: 16219704; PMCID: PMC1798162.

[22] Culham EG, Jimenez HA, King CE. Thoracic kyphosis, rib mobility, and lung volumes in normal women and women with osteoporosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1994 Jun 1;19(11):1250-5. doi: 10.1097/00007632-199405310-00010. PMID: 8073317.

[23] Wang CM, Hong WH, Ho HH, Chen JY, Tsai YL, Pei YC. Features of trunk muscle weakness in patients with ankylosing spondylitis: A cross-sectional study. *Biomed J*. 2019 Apr;42(2):124-130. doi: 10.1016/j.bj.2019.01.001. Epub 2019 May 7. PMID: 31130248; PMCID: PMC6543501.

[24] Olsén MF, Romberg K. Reliability of the Respiratory Movement Measuring Instrument, RMMI. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2010 Sep;30(5):349-353. doi: 10.1111/j.1475-097X.2010.00951.x. Epub 2010 Jun 23. PMID: 20584032.

[25] Cahalin LP, Ragnarsdóttir M. Reliability, validity, and clinical utility of a novel respiratory movement measuring instrument. *Chest* 2002; 122: 207S

[26] Ragnarsdóttir M, Geirsson AJ, Gudbjörnsson B. Rib cage motion in ankylosing spondylitis patients: a pilot study. *Spine J*. 2008 May-Jun;8(3):505-9. doi: 10.1016/j.spinee.2006.12.009. Epub 2007 Feb 20. PMID: 18455114.

[27] Gunnesson IL, Olsén MF. Validity in measuring breathing movements with the Respiratory Movement Measuring Instrument, RMMI. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2011 Jan;31(1):1-4. doi: 10.1111/j.1475-097X.2010.00970.x. Epub 2010 Aug 24. PMID: 20735443.

[28] Bruni GI, Gigliotti F, Scano G. Optoelectronic plethysmography for measuring rib cage distortion, optoelectronics. In: Predeep P (ed.). *Optoelectronics*. InTech 2011

[29] Faria Júnior NS, Santos IR, Dias IS, et al. Opto-electronic plethysmography: noninvasive and accurate measurement of the volume of the chest wall and its different thoraco-abdominal compartments. *Med Sci Tech* 2013; 54: 147–150, DOI: 10.12659/MST.889664.

[30] Parreira VF, Vieira DS, Myrrha MA, et al. Optoelectronic plethysmography: a review of the literature. *Rev Bras Fisioter* 2012; 16:439–453.

[31] Reinaux CM, Aliverti A, da Silva LG, da Silva RJ, Gonçalves JN, Noronha JB, Filho JE, de Andrade AD, de Amorim Britto MC. Tidal volume measurements in infants: Opto-electronic plethysmography versus pneumotachograph. *Pediatr Pulmonol*. 2016 Aug;51(8):850-7. doi: 10.1002/ppul.23394. Epub 2016 Mar 17. PMID: 26991671.

- [32] Mendes L, Britto R, Fregonezi G, et al. Optoelectronic plethysmography: reference values for breathing pattern. *Eur Respir J* 2020; 56: Suppl 64: 2871, DOI: 10.1183/13993003.congress-2020.2871.
- [33] Massaroni C, Carraro E, Vianello A, et al. Optoelectronic plethysmography in clinical practice and research: a review. *Respiration* 2017; 93: 339–354, DOI: 10.1159/000462916
- [34] Skoczylas A, Sliwiński P. Pletyzmografia optoelektroniczna - nowa technika pomiaru zmian objętości klatki piersiowej [Optoelectronic plethysmography -- a new technic to measure changes of chest wall volume]. *Pneumonol Alergol Pol.* 2007;75(1):81-7. Polish. PMID: 17541916.
- [35] Ünlü E, Pamuk ÖN, Erer B, Dönmez S, Çakir N. Diaphragmatic movements in ankylosing spondylitis patients and their association with clinical factors: an ultrasonographic study. *Rheumatol Int.* 2012 Feb;32(2):435-7. doi: 10.1007/s00296-010-1657-1. Epub 2010 Dec 1. PMID: 21120494.
- [36] Dhahri R, Mejri I, Ghram A, Dghaies A, Slouma M, et. Al. Assessment Tools for Pulmonary Involvement in Patients with Ankylosing Spondylitis: Is Diaphragmatic Ultrasonography Correlated to Spirometry? *J Multidiscip Healthc.* 2023 Jan 11;16:51-61. doi: 10.2147/JMDH.S393061. PMID: 36660040; PMCID: PMC9843477.
- [37] Lewis GF, Gatto RG, Porges SW. A novel method for extracting respiration rate and relative tidal volume from infrared thermography. *Psychophysiology.* 2011 Jul;48(7):877-87. doi: 10.1111/j.1469-8986.2010.01167.x. Epub 2011 Jan 7. PMID: 21214587; PMCID: PMC3107393.
- [38] De Groote A, Wantier M, Cheron G, Estenne M, Paiva M. Chest wall motion during tidal breathing. *J Appl Physiol* (1985). 1997 Nov;83(5):1531-7. doi: 10.1152/jappl.1997.83.5.1531. PMID: 9375316.
- [39] Leong JC, Lu WW, Luk KD, Karlberg EM. Kinematics of the chest cage and spine during breathing in healthy individuals and in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 1999 Jul 1;24(13):1310-5. doi: 10.1097/00007632-199907010-00007. PMID: 10404572.
- [40] Yuksekkaya R, Almus F, Celikyay F, Celikel S, Inanır A, et. al. Pulmonary involvement in ankylosing spondylitis assessed by multidetector computed tomography. *Pol J Radiol.* 2014 Jun 23;79:156-63. doi: 10.12659/PJR.889850. PMID: 24971158; PMCID: PMC4070990.
- [41] Kondo T, Arita H, Ohta Y, Yamabayashi H. Role of the mediastinum as a part of the chest wall: analyzed by computed tomography. *Respiration.* 1989;56(1-2):116-26. doi: 10.1159/000195786. PMID: 2602665.

- [42] Sadura-Sieklucka T, Szewczyk D, Liberacki P, Paśko S, Wojdasiewicz P, Targowski T. The 4DBODY system as a new tool for chest mobility assessment in patients with ankylosing spondylitis. *Reumatologia*. 2023;61(5):353-359. doi: 10.5114/reum/173022. Epub 2023 Oct 31. PMID: 37970113; PMCID: PMC10634404.
- [43] Criée CP, Sorichter S, Smith HJ, Kardos P, Merget R, et. Al. Body plethysmography--its principles and clinical use. *Respir Med*. 2011 Jul;105(7):959-71. doi: 10.1016/j.rmed.2011.02.006. Epub 2011 Feb 26. PMID: 21356587.
- [44] I.A. Kapandji. Anatomia funkcjonalna stawów. T. 3. Kręgosłup, miednica, głowa. Wydawnictwo Edra Urban & Partner 2022. wyd. 7, red. R Gnat. ISBN 9788366548428
- [45] Ladjal H, Shariat B, Azencot J, Beuve M. Appropriate biomechanics and kinematics modeling of the respiratory system: Human diaphragm and thorax. 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Tokyo, Japan, 2013, pp. 2004-2009, doi: 10.1109/IROS.2013.6696623
- [46] J. Hochschild. Anatomia Funkcjonalna Dla Fizjoterapeutów. MedPharm 2018. ISBN: 978-83-7846-081-7
- [47] Rosalba C. The functions of breathing and its dysfunctions and their relationship to breathing therapy, *International Journal of Osteopathic Medicine*, Volume 12, Issue 3, 2009, Pages 78-85, ISSN 1746-0689, <https://doi.org/10.1016/j.ijosm.2009.04.002>.
- [48] Bradley H, Esformes J. Breathing pattern disorders and functional movement. *Int J Sports Phys Ther*. 2014 Feb;9(1):28-39. PMID: 24567853; PMCID: PMC3924606.
- [49] Will R, Kennedy G, Elswood J, Edmunds L, Wachjudi R, Evison G, Calin A. Ankylosing spondylitis and the shoulder: commonly involved but infrequently disabling. *J Rheumatol*. 2000 Jan;27(1):177-82. PMID: 10648036.
- [50] Emery RJ, Ho EK, Leong JC. The shoulder girdle in ankylosing spondylitis. *J Bone Joint Surg Am*. 1991 Dec;73(10):1526-31. PMID: 1748701.
- [51] Barrett E, O'Keeffe M, O'Sullivan K, Lewis J, McCreesh K. Is thoracic spine posture associated with shoulder pain, range of motion and function? A systematic review. *Man Ther*. 2016 Dec;26:38-46. doi: 10.1016/j.math.2016.07.008. Epub 2016 Jul 21. PMID: 27475532.
- [52] Crosbie J, Kilbreath SL, Hollmann L, York S. Scapulohumeral rhythm and associated spinal motion. *Clin Biomech (Bristol)*. 2008 Feb;23(2):184-92. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2007.09.012. Epub 2007 Nov 5. PMID: 17981379.
- [53] Otoshi K., Takegami M., Sekiguchi M. et al. Association between kyphosis and subacromial impingement syndrome: LOHAS study. *J Shoulder Elbow Surg* 2014; 23(12): e300-e307.

- [54] Mete O., Oskay D., Tufan A. The relationships between thoracic region involvement and functions of upper extremity, scapular kinematics in patients with ankylosing spondylitis: pilot study. *Ann Rheum Dis* 2017; 76(supl. 2): 1302.
- [55] Szewczyk D, Sadura-Sieklucka T, Tarnacka B, Sokołowska B. Is there a connection between spine alignment, chest mobility, shoulder joint and respiratory parameters of patients with ankylosing spondylitis? *Rheumatol Int.* 2024 Aug;44(8):1481-1486. doi: 10.1007/s00296-024-05642-0. Epub 2024 Jun 25. PMID: 38914771; PMCID: PMC11222267.
- [56] Maksymowych WP, Gooch KL, Wong RL, Kupper H, van der Heijde D. Impact of age, sex, physical function, health-related quality of life, and treatment with adalimumab on work status and work productivity of patients with ankylosing spondylitis. *J Rheumatol.* 2010 Feb;37(2):385-92. doi: 10.3899/jrheum.090242. Epub 2009 Dec 1. PMID: 19955052.
- [57] Lee SH, Son ES, Seo EM, Suk KS, Kim KT. Factors determining cervical spine sagittal balance in asymptomatic adults: correlation with spinopelvic balance and thoracic inlet alignment. *Spine J.* 2015 Apr 1;15(4):705-12. doi: 10.1016/j.spinee.2013.06.059. Epub 2013 Sep 8. PMID: 24021619.
- [58] Sahin G, Calikoğlu M, Ozge C, Incel N, Biçer A, Ulaşbaş B, Güler H. Respiratory muscle strength but not BASFI score relates to diminished chest expansion in ankylosing spondylitis. *Clin Rheumatol.* 2004 Jun;23(3):199-202. doi: 10.1007/s10067-003-0850-y. Epub 2004 Mar 16. PMID: 15168144.
- [59] Cerrahoglu L, Unlu Z, Can M, Goktan C, Celik P. Lumbar stiffness but not thoracic radiographic changes relate to alteration of lung function tests in ankylosing spondylitis. *Clin Rheumatol.* 2002 Aug;21(4):275-9. doi: 10.1007/s100670200073. PMID: 12189452.
- [60] Feltelius N, Hedenström H, Hillerdal G, Hällgren R. Pulmonary involvement in ankylosing spondylitis. *Ann Rheum Dis.* 1986 Sep;45(9):736-40. doi: 10.1136/ard.45.9.736. PMID: 3767460; PMCID: PMC1001979.
- [61] Barreiro TJ, Perillo I. An approach to interpreting spirometry. *Am Fam Physician.* 2004 Mar 1;69(5):1107-14. PMID: 15023009.
- [62] Kapreli E, Vourazanis E, Strimpakos N. Neck pain causes respiratory dysfunction. *Med Hypotheses.* 2008;70(5):1009-13. doi: 10.1016/j.mehy.2007.07.050. Epub 2007 Oct 23. PMID: 17959320.
- [63] Horie J, Murata S, Inoue Y, Nakamura S, et al A Study of the Influence of the Pulmonary Function on the Angles of Thoracic Kyphosis and Lumbar Lordosis in Community-Dwelling Elderly Women. *Journal of Physical Therapy Science* 21 (2009): 169-172.

- [64] ÖzbaşGünay, M et al. "The Effect of Breathing and Posture Exercise on the Clinical, Functional Status and Disease Related Quality of Life in Patients with Ankylosing Spondylitis." *Medicine Science | International Medical Journal* 1 (2012): 103-117.
- [65] Karapolat H, Eyigor S, Zoghi M, Akkoc Y, Kirazli Y, Keser G. Are swimming or aerobic exercise better than conventional exercise in ankylosing spondylitis patients? A randomized controlled study. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2009 Dec;45(4):449-57. Epub 2009 Jul 23. PMID: 20032902.
- [66] Saracoglu I, Kurt G, Okur EO, Afsar E, Seyyar GK, Calik BB, Taspinar F. The effectiveness of specific exercise types on cardiopulmonary functions in patients with ankylosing spondylitis: a systematic review. *Rheumatol Int*. 2017 Mar;37(3):409-421. doi: 10.1007/s00296-016-3603-3. Epub 2016 Nov 11. PMID: 27837263.
- [67] Kasapoglu Aksoy M, Birtane M, Taştekin N, Ekuklu G. The Effectiveness of Structured Group Education on Ankylosing Spondylitis Patients. *J Clin Rheumatol*. 2017 Apr;23(3):138-143. doi: 10.1097/RHU.0000000000000499. PMID: 28248799.
- [68] Liang H, Xu L, Tian X, Wang S, Liu X, Dai Y, Kang L, Chen L, Jin L, Li Q, Chen W. The comparative efficacy of supervised- versus home-based exercise programs in patients with ankylosing spondylitis: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2020 Feb;99(8):e19229. doi: 10.1097/MD.00000000000019229. PMID: 32080122; PMCID: PMC7034711.
- [69] van Tubergen A, Hidding A. Spa and exercise treatment in ankylosing spondylitis: fact or fancy? *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2002 Sep;16(4):653-66. doi: 10.1053/berh.2002.0240. PMID: 12406432.
- [70] Analay Y, Ozcan E, Karan A, Diracoglu D, Aydin R. The effectiveness of intensive group exercise on patients with ankylosing spondylitis. *Clin Rehabil*. 2003 Sep;17(6):631-6. doi: 10.1191/0269215503cr658oa. PMID: 12971708.
- [71] Dagfinrud H, Kvien TK, Hagen KB. Physiotherapy interventions for ankylosing spondylitis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2008 Jan 23;2008(1):CD002822. doi: 10.1002/14651858.CD002822.pub3. PMID: 18254008; PMCID: PMC8453259.
- [72] Mohanty P. Effectiveness of soft tissue mobilisation as an adjunct to the conventional therapy in patients with ankylosing spondylitis. *J Nov Physiother Rehabil* 2018; 2: 001-014.
- [73] Gur Kabul E, Basakci Calik B, Oztop M, Cobankara V. The efficacy of manual soft-tissue mobilization in ankylosing spondylitis: A randomized controlled study. *Int J Rheum Dis*. 2021 Mar;24(3):445-455. doi: 10.1111/1756-185X.14072. Epub 2021 Feb 28. PMID: 33644986.

- [74] Park SE, Kim BK, Lee SB, Choi WS, Yeum DM. Effects of central and unilateral posteroanterior mobilization on cervical lordosis, muscle stiffness and ROM in patient with ankylosing spondylitis: case study. *J Phys Ther Sci*. 2017 Jul;29(7):1276-1280. doi: 10.1589/jpts.29.1276. Epub 2017 Jul 15. PMID: 28744064; PMCID: PMC5509608.
- [75] Gyurcsik ZN, András A, Bodnár N, Szekanecz Z, Szántó S. Improvement in pain intensity, spine stiffness, and mobility during a controlled individualized physiotherapy program in ankylosing spondylitis. *Rheumatol Int*. 2012 Dec;32(12):3931-6. doi: 10.1007/s00296-011-2325-9. Epub 2011 Dec 25. PMID: 22198694.
- [76] Baglan-Yentur S., Mete O., Tuna Z. et al. The effects of the Mulligan concept in ankylosing spondylitis: abreport of two cases. *Int J Ther Rehabil* 2019; 26(5):1-10
- [77] Tricás-Moreno JM, Lucha-López MO, Lucha-López AC, Salavera-Bordás C, Vidal-Peracho C. Optimizing physical therapy for ankylosing spondylitis: a case study in a young football player. *J Phys Ther Sci*. 2016 Apr;28(4):1392-7. doi: 10.1589/jpts.28.1392. Epub 2016 Apr 28. PMID: 27190490; PMCID: PMC4868250.
- [78] Widberg K, Karimi H, Hafström I. Self- and manual mobilization improves spine mobility in men with ankylosing spondylitis--a randomized study. *Clin Rehabil*. 2009 Jul;23(7):599-608. doi: 10.1177/0269215508101748. Epub 2009 Apr 29. PMID: 19403551.
- [79] Lange U., Sperling M., Richter K. et al. The effects of manual mobilization on the mobility of the thoracic spine in patients with ankylosing spondylitis. *J Musculoskelet Disord Treat* 2016; 2: 011
- [80] Dembowski Ł. The use of modern methods of physiotherapy in ankylosing spondylitis. *J Edu Health Sport* 2015; 5(8): 145-158.
- [81] Silva EM, Andrade SC, Vilar MJ. Evaluation of the effects of Global Postural Reeducation in patients with ankylosing spondylitis. *Rheumatol Int*. 2012 Jul;32(7):2155-63. doi: 10.1007/s00296-011-1938-3. Epub 2011 May 5. PMID: 21544639.
- [82] Drăgoi RG, Amaricai E, Drăgoi M, Popoviciu H, Avram C. Inspiratory muscle training improves aerobic capacity and pulmonary function in patients with ankylosing spondylitis: a randomized controlled study. *Clin Rehabil*. 2016 Apr;30(4):340-6. doi: 10.1177/0269215515578292. Epub 2015 Mar 25. PMID: 25810425.
- [83] Koçyiğit H., Gürkan A., Özbaş Günay M. et al. The effect of breathing and posture exercise on the clinical, functional status and disease related quality of life in patients with ankylosing spondylitis. *Med Sci* 2012; 1: 103-117
- [84] Basakci Calik B, Pekesen Kurtca M, Gur Kabul E, Telli Atalay O, Taskin H, Yigit M, Tasci M, Cobankara V. Investigation of the effectiveness of aerobic exercise training in

individuals with ankylosing spondylitis: Randomized controlled study. *Mod Rheumatol*. 2021 Mar;31(2):442-450. doi: 10.1080/14397595.2020.1745409. Epub 2020 Apr 14. PMID: 32202181.

[85] So MW, Heo HM, Koo BS, Kim YG, Lee CK, Yoo B. Efficacy of incentive spirometer exercise on pulmonary functions of patients with ankylosing spondylitis stabilized by tumor necrosis factor inhibitor therapy. *J Rheumatol*. 2012 Sep;39(9):1854-8. doi: 10.3899/jrheum.120137. Epub 2012 Aug 1. PMID: 22859343.

[86] Durmuş D, Alaylı G, Uzun O, Tander B, Cantürk F, Bek Y, Erkan L. Effects of two exercise interventions on pulmonary functions in the patients with ankylosing spondylitis. *Joint Bone Spine*. 2009 Mar;76(2):150-5. doi: 10.1016/j.jbspin.2008.06.013. Epub 2008 Dec 11. PMID: 19084457.

[87] Gonzalez-Medina G, Perez-Cabezas V, Marin-Paz AJ, Galán-Mercant A, Ruiz-Molinero C, Jimenez-Rejano JJ. Effectiveness of Global Postural Reeducation in Ankylosing Spondylitis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2020 Aug 20;9(9):2696. doi: 10.3390/jcm9092696. PMID: 32825373; PMCID: PMC7565990.

[88] Fernández-de-Las-Peñas C, Alonso-Blanco C, Morales-Cabezas M, Miangolarra-Page JC. Two exercise interventions for the management of patients with ankylosing spondylitis: a randomized controlled trial. *Am J Phys Med Rehabil*. 2005 Jun;84(6):407-19. doi: 10.1097/01.phm.0000163862.89217.fe. PMID: 15905654.

[89] Zão A, Cantista P. The role of land and aquatic exercise in ankylosing spondylitis: a systematic review. *Rheumatol Int*. 2017 Dec;37(12):1979-1990. doi: 10.1007/s00296-017-3829-8. Epub 2017 Oct 5. PMID: 28983663.

[90] Dagfinrud H, Halvorsen S, Vøllestad NK, Niedermann K, Kvien TK, Hagen KB. Exercise programs in trials for patients with ankylosing spondylitis: do they really have the potential for effectiveness? *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2011 Apr;63(4):597-603. doi: 10.1002/acr.20415. PMID: 21452270.

[91] Basakci Calik B, Pekesen Kurtca M, Gur Kabul E, Telli Atalay O, Taskin H, Yigit M, Tasci M, Cobankara V. Investigation of the effectiveness of aerobic exercise training in individuals with ankylosing spondylitis: Randomized controlled study. *Mod Rheumatol*. 2021 Mar;31(2):442-450. doi: 10.1080/14397595.2020.1745409. Epub 2020 Apr 14. PMID: 32202181.

[92] Ince G, Sarpel T, Durgun B, Erdogan S. Effects of a multimodal exercise program for people with ankylosing spondylitis. *Phys Ther*. 2006 Jul;86(7):924-35. Erratum in: *Phys Ther*. 2006 Oct;86(10):1452. PMID: 16813473.

- [93] Luo Y, Chen Y, Yan X, Zhang L, Shang Y, Seo JC. Effectiveness of exercise intervention in relieving symptoms of ankylosing spondylitis: A network meta-analysis. *PLoS One*. 2024 Jun 14;19(6):e0302965. doi: 10.1371/journal.pone.0302965. PMID: 38875227; PMCID: PMC11178210.
- [94] Pécourneau V, Degboé Y, Barnetche T, Cantagrel A, Constantin A, Ruysse-Witrand A. Effectiveness of Exercise Programs in Ankylosing Spondylitis: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Arch Phys Med Rehabil*. 2018 Feb;99(2):383-389.e1. doi: 10.1016/j.apmr.2017.07.015. Epub 2017 Aug 30. PMID: 28860095.
- [95] Jennings F, Oliveira HA, de Souza MC, Cruz Vda G, Natour J. Effects of Aerobic Training in Patients with Ankylosing Spondylitis. *J Rheumatol*. 2015 Dec;42(12):2347-53. doi: 10.3899/jrheum.150518. Epub 2015 Nov 1. PMID: 26523029.
- [96] Dunder U, Solak O, Toktas H, Demirdal US, Subasi V, Kavuncu V, Evcik D. Effect of aquatic exercise on ankylosing spondylitis: a randomized controlled trial. *Rheumatol Int*. 2014 Nov;34(11):1505-11. doi: 10.1007/s00296-014-2980-8. Epub 2014 Mar 14. PMID: 24626605.
- [97] Gandomi F, Soufivand P, Ezati M, Salimi M, Assar S, Pournazari M, Abbasi H. The effect of Aqua Stretching exercises and Pilates on pain, function and spine posture in patients with ankylosing spondylitis: a randomized controlled trial. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2022 Oct 21;14(1):183. doi: 10.1186/s13102-022-00577-0. PMID: 36271391; PMCID: PMC9585788.
- [98] Aytekin E, Caglar NS, Ozgonenel L, Tutun S, Demiryontar DY, Demir SE. Home-based exercise therapy in patients with ankylosing spondylitis: effects on pain, mobility, disease activity, quality of life, and respiratory functions. *Clin Rheumatol*. 2012 Jan;31(1):91-7. doi: 10.1007/s10067-011-1791-5. Epub 2011 Jun 10. PMID: 21656347.
- [99] Ortancil O, Sarikaya S, Sapmaz P, Basaran A, Ozdolap S. The effect(s) of a six-week home-based exercise program on the respiratory muscle and functional status in ankylosing spondylitis. *J Clin Rheumatol*. 2009 Mar;15(2):68-70. doi: 10.1097/RHU.0b013e31819b5ed0. PMID: 19265348.
- [100] Wong ML, Anderson RG, Garcia K, Housmann EM, McHale E, Goldberger GS, Cahalin LP. The effect of inspiratory muscle training on respiratory variables in a patient with ankylosing spondylitis: A case report. *Physiother Theory Pract*. 2017 Oct;33(10):805-814. doi: 10.1080/09593985.2017.1346023. Epub 2017 Jul 17. PMID: 28715240.
- [101] Zawadka M, Kloc J, Fijewski A. RESTING SCAPULAR POSITION AND THE MOBILITY OF THE CERVICAL SPINE IN SUBJECTS PRACTICING VOLLEYBALL.

Polish Journal of Sports Medicine. (2016);32(3):165-172.
<https://doi.org/10.5604/1232406X.1224431>.

[102] Kebaetse M, McClure P, Pratt NA. Thoracic position effect on shoulder range of motion, strength, and three-dimensional scapular kinematics. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999 Aug;80(8):945-50. doi: 10.1016/s0003-9993(99)90088-6. PMID: 10453773.

[103] Jang JS, Lee SH, Min JH, Maeng DH. Influence of lumbar lordosis restoration on thoracic curve and sagittal position in lumbar degenerative kyphosis patients. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009 Feb 1;34(3):280-4. doi: 10.1097/BRS.0b013e318191e792. PMID: 19179923.

[104] Lee SH, Son ES, Seo EM, Suk KS, Kim KT. Factors determining cervical spine sagittal balance in asymptomatic adults: correlation with spinopelvic balance and thoracic inlet alignment. *Spine J.* 2015 Apr 1;15(4):705-12. doi: 10.1016/j.spinee.2013.06.059. Epub 2013 Sep 8. PMID: 24021619.

[105] Hardacker JW, Shuford RF, Capicotto PN, Pryor PW. Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. *Spine (Phila Pa 1976).* 1997 Jul 1;22(13):1472-80; discussion 1480. doi: 10.1097/00007632-199707010-00009. PMID: 9231966.

[106] Gupta MC, Ferrero E, Mundis G, Smith JS, Shaffrey CI, et al. Pedicle Subtraction Osteotomy in the Revision Versus Primary Adult Spinal Deformity Patient: Is There a Difference in Correction and Complications? *Spine (Phila Pa 1976).* 2015 Nov;40(22):E1169-75. doi: 10.1097/BRS.0000000000001107. PMID: 26730526.

[107] Wirth B, Amstalden M, Perk M, Boutellier U, Humphreys BK. Respiratory dysfunction in patients with chronic neck pain - influence of thoracic spine and chest mobility. *Man Ther.* 2014 Oct;19(5):440-4. doi: 10.1016/j.math.2014.04.011. Epub 2014 Apr 30. PMID: 24835338.

[108] Szewczyk D, Sadura-Sieklucka T, Tarnacka B, Targowski T. Influence of Manual Therapy and Stretching Exercises on Mobility Status and Pulmonary Function Tests Among Patients with Ankylosing Spondylitis. *Med Rehabil.* (2023);27(3):60-65. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.0124>.

[109] Yang, Yunfei MM; Huang, Lijun BM; Zhao, Guofeng BM; Xia, Jiyuan BM; Tian, Xinqi BM; Liu, Chang MM; Xia, Qingfu BM. Influence of kyphosis in ankylosing spondylitis on cardiopulmonary functions. *Medicine* 102(43):p e35592, October 27, 2023. | DOI: 10.1097/MD.00000000000035592

[110] Ha Neul Lee, Hemant Sawnani, Paul S. Horn, Irina Rybalsky, Lani Relucio, Brenda L. Wong. The Performance of the Upper Limb scores correlate with pulmonary function test

measures and Egen Klassifikation scores in Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscular Disorders*. Volume 26, Issues 4–5. 2016. Pages 264-271

[111] Shah, Swati; Nahar, Pradeep; Vaidya, Savita; Salvi, Sundee* . Upper limb muscle strength & endurance in chronic obstructive pulmonary disease. *The Indian Journal of Medical Research* 138(4):p 492-496, October 2013.

[112] Liu X, Li P, Wang Z, Lu Y, Li N, Xiao L, Wu W. Evaluation of isokinetic muscle strength of upper limb and the relationship with pulmonary function and respiratory muscle strength in stable COPD patients. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 14, 2027–2036. (2019) <https://doi.org/10.2147/COPD.S214737>

[113] Nicola R. Heneghan, Peymane Adab, George M. Balanos, Rachel E. Jordan. Manual therapy for chronic obstructive airways disease: A systematic review of current evidence. *Manual Therapy*, Volume 17, Issue 6, 2012, Pages 507-518.

[114] Yilmaz Yelvar, G. D., Çirak, Y., Demir, Y. P., Dalkılıç, M., & Bozkurt, B. Immediate effect of manual therapy on respiratory functions and inspiratory muscle strength in patients with COPD. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 2016;11, 1353–1357. <https://doi.org/10.2147/COPD.S107408>

[115] Rosalba Courtney, Gabrielle Biland, Anna Ryan, Sandra Grace, Rachel Gordge, Improvements in multi-dimensional measures of dysfunctional breathing in asthma patients after a combined manual therapy and breathing retraining protocol: a case series report. *International Journal of Osteopathic Medicine*, Volume 31, 2019, Pages 36-43, ISSN 1746-0689, <https://doi.org/10.1016/j.ijosm.2019.01.003>.

[116] Roh JA, Kim KI, Jung HJ. The efficacy of manual therapy for chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review. *PLoS One*. 2021 May 18;16(5):e0251291. doi: 10.1371/journal.pone.0251291. PMID: 34003822; PMCID: PMC8130973

[117] Wall, B., Peiffer, J., Losco, B. *et al.* The effect of manual therapy on pulmonary function in healthy adults. *Sci Rep* 6, 33244 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep33244>

[118] Cruz-Montecinos, C., Godoy-Olave, D., Contreras-Briceño, F. A., Gutiérrez, P., Torres-Castro, R., Miret-Venegas, L., & Engel, R. M. The immediate effect of soft tissue manual therapy intervention on lung function in severe chronic obstructive pulmonary disease. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 2017;12, 691–696. <https://doi.org/10.2147/COPD.S127742>

[119] Engel, R. M., Gonski, P., Beath, K., & Vemulapad, S. Medium term effects of including manual therapy in a pulmonary rehabilitation program for chronic obstructive pulmonary

disease (COPD): a randomized controlled pilot trial. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 2016;24(2), 80–89.<https://doi.org/10.1179/2042618614Y.00000000074>

[120] Roger M. Engel, Subramanyam R. Vemulpad, Ken Beath, Short-Term Effects of a Course of Manual Therapy and Exercise in People With Moderate Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Preliminary Clinical Trial, *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, Volume 36, Issue 8, 2013, Pages 490-496, ISSN 0161-4754,

[121] Noll, D.R, Johnson, J.C., Baer, R.W. *et al.* The immediate effect of individual manipulation techniques on pulmonary function measures in persons with chronic obstructive pulmonary disease. *Osteopath Med Prim Care* 3, 9 (2009). <https://doi.org/10.1186/1750-4732-3-9>

[122] Forner-Álvarez C, Cuenca-Martínez F, Sempere-Rubio N, Carrasco-González E. Grande-Alonso et al. Manual Therapy in Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease: An Overview of Systematic Reviews With Meta-Analysis and Meta-Regression. *Cardiopulmonary Physical Therapy Journal* (2024):10.1097/CPT 0000000000000262

[123] Szewczyk D. Terapia Manualna. W. Maślińska M, Olesińska M, Tederko P. Ból w chorobach reumatycznych Diagnozowanie i leczenie (część 3). PZWL. 2024. 54-62

KOPIE PUBLIKOWANYCH PRAC STANOWIĄCYCH PRACĘ DOKTORSKĄ

The 4DBODY system as a new tool for chest mobility assessment in patients with ankylosing spondylitis

Teresa Sadura-Sieklucka¹ , Daniel Szewczyk¹ , Paweł Liberacki² , Sławomir Paśko² ,
Piotr Wojdasiewicz³ , Tomasz Targowski¹ 

¹Department of Geriatrics, National Institute of Geriatrics, Rheumatology, and Rehabilitation, Warsaw, Poland

²Institute of Micromechanics and Photonics, Warsaw University of Technology, Poland

³Medical University of Warsaw, Poland

Abstract

Introduction: Ankylosing spondylitis (AS) is a chronic inflammatory, progressive disease, which leads to deterioration of chest and spine mobility and decrease of physical capacity with abnormal chest movement patterns. We aimed to assess the usefulness of the 4DBODY technology for evaluation of the effectiveness of AS treatment.

Material and methods: The 4DBODY technology was assessed on single AS patient with axial involvement. The patient was examined twice, before and after 14 days of rehabilitation. Physiotherapeutic and plethysmographic examinations were used, as well as angular measurement of spine curvatures and measurement of chest mobility. Chest activity measured using the 4DBODY system and the quality of movement were visualized.

Results: There was observed an increase of chest mobility from 18 mm to 27.9 mm (up 55%) in the 4DBODY system measurement. The quality of the chest movement also improved, the required phases of inspiration were synchronized. The angular position of the spine has also changed. The chest expansion improved from 25 mm to 50 mm measured on the level of the fourth intercostal space and from 30 mm to 50 mm at the Th10 level. Inspiratory and expiratory muscle strength increased respectively from 80% to 93% and from 46% to 86% of the predicted values. Total airway resistance (R_{tot}) – increase from 59% to 67%, whereas functional residual capacity (FRC) and total lung capacity (TLC) did not change significantly.

Conclusions: The new 4DBODY technology was found to be an effective method of examination and assessment of the effectiveness of rehabilitation of patients with AS.

Key words: rehabilitation, ankylosing spondylitis, chest mobility, the 4DBODY system.

Introduction

Ankylosing spondylitis (AS) is a chronic, inflammatory, progressive rheumatic disease. Axial AS occurs with the involvement of the sacroiliac joints, spine, ligaments and peri-spinal tissues. Diagnosis of AS can be established when the modified New York Criteria are met [1].

In the course of severe disease the mobility of the spine and chest decreases until they become completely rigid [1, 2]. Other symptoms are pain and morn-

ing spine stiffness, which subsides with movement. At the onset of the disease, the pain is usually reported within the sacroiliac joints and the upper lumbar and lower thoracic spine [3].

As the disease progresses, the patient's body shape changes, which results from the vertical position of the sacrum, the loss of lumbar lordosis, excessive thoracic kyphosis and cervical lordosis. The head and shoulders protrude, and the shoulder blades move away from the spine. The cooperation of the muscular system is disturbed [4].

Address for correspondence:

Teresa Sadura-Sieklucka, Department of Geriatrics, National Institute of Geriatrics, Rheumatology, and Rehabilitation, 1 Spartańska St., 02-637 Warsaw, Poland, e-mail: teresa.sadura-sieklucka@spartanska.pl

Submitted: 26.06.2023; Accepted: 22.09.2023

Improvement in AS depends on the activity and the stage of the disease. Regular, properly selected physiotherapy and physical activity increase the patient's efficiency and delay the deformation of the patient's body. Lack of movement and staying in a sitting position for a long time promote spinal deformity and strengthen peripheral joint contractures [5].

As the disease progresses, the patient's physical capacity decreases, which results from abnormal chest movement patterns. Progression limiting the mobility of the chest affects the mechanics of breathing and leads to malfunction of the lungs and bronchi [6, 7].

Rehabilitation is a very important element of treatment, thanks to which the patient has a chance to maintain functional efficiency at the highest possible level. Therefore, new methods of improving and monitoring treatment progress are constantly being sought.

The aim of the study was to assess the usefulness of the 4D body technology (4DBODY) to assess the effectiveness of AS treatment.

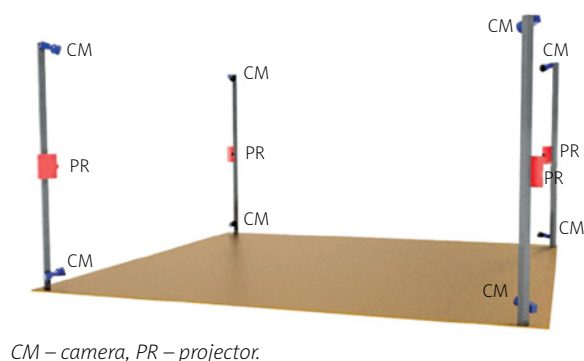
Material and methods

Study design

To evaluate the 4DBODY technology a patient with confirmed AS was chosen [8].

To use the 4DBODY system the medical data of the studied patient were analyzed. The patient complained of chronic back pain, especially in the lumbar and the thoraco-lumbar regions and presented symptoms of inflammation of the spine junction and right Achilles tendon.

Additionally at the age of 12 the patient underwent a corrective surgery due to juvenile avascular necrosis of the left femur and finally in 2019 underwent a total left hip joint replacement.



CM – camera, PR – projector.

Fig. 1. A schematic diagram of the 4DBODY scanning system.

According to therapeutic recommendations for AS the patient was treated with non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs). Also the patient each year underwent a 3-weeks rehabilitation program in the department of rehabilitation. For the last 2 years the patient had the same therapeutic regimen before rehabilitation in which the 4DBODY system was used.

Device type

The 4DBODY system consists of 8 detectors and 4 projectors divided into 4 measuring heads, which are evenly distributed around the center of the measuring volume (Fig. 1) [9].

The system uses FLIR Grasshopper 3.0 detectors with a 2.3-megapixel sensor providing the acquisition frequency of up to 163 Hz (reduced to 120 Hz when capturing is synchronized with projectors). The projectors are Casio XJ-A242 with the resolution of 1,280 x 800 pixels and a hybrid light source of 2,500 lumens that combines laser and LED technology.

This system utilizes a structured light projection technique, in a single frame variant based on a sinusoidal fringe pattern. Neighboring measuring heads are spectrally separated, which makes it possible to capture the entire surface of the human body in motion. The results are in the form of point clouds reflecting the actual measurement coordinates. The 4DBODY system ensures that the spatial resolution of the output point cloud is not greater than 1.0 mm and its measurement uncertainty is not greater than 0.5 mm.

Measurement procedure

The standing patient was positioned within the measurement volume of the scanning system. The complete breathing cycle was measured, so the patient was asked to take a deep breath and exhale. Chest movement was recorded while breathing. A sequence of point clouds was recorded. Then MATLAB R2019b software was used to analyze whether the applied therapy had any influence on chest movement.

At first, a few consecutive operations consisting of experimentally selected translations and rotations were applied to the data to position the shoulders line parallel to the Y axis (left – right axis) in the XY plane (axial plane). Such orientation of the data, resembling the LPS (left, posterior, superior) orientation from the anatomical coordinate system, simplified further processing.

The majority of points were removed from about 1.8 million points present in the initial cloud in order to minimize the duration of calculations. A 100-mm high fragment bounded by two planes parallel to the XY plane was left.

The lower separating plane was placed slightly higher than the connective element of the bra, while the upper one was slightly lower than the shoulder line. The resulting cloud included approximately 150,000 points. Next outliers were removed from this set [10] to eliminate the measurement noise understood as sparse outliers.

The neighborhood parameter for this action was set at 100 points, and the cut-off point at 2.5 mm. To reduce the effect of swaying in the frontal plane, i.e. moving sideways, the point of gravity of the cloud was calculated on its 10 mm high fragment, and the cloud was repositioned to a assumed common position of all clouds in the sequence.

The next step involved a selection of a plane parallel to the XY plane. The lower plane whose neighborhood, for the whole sequence, was not obscured by the bra was selected. Points for analysis were taken from that area. The neighborhood was defined at ± 0.5 mm.

The points were projected onto the XY plane and further analyses were conducted in the 2D space. Subsequently, the points were sorted on the X axis which facilitated their division into the anterior and posterior section. Each of those sections was processed independently in the same manner.

First, the points were sorted on the Y axis to be filtered with the median filter with a 15-point wide win-

dow. Next, cubic spline data interpolation was used to determine points distributed evenly every 0.2 mm on the Y axis. It was then possible to calculate the distance between the front and back segment for each of the above-mentioned points on the Y axis.

We analyzed the movement of the point located on the body of the sternum against the point which was its projection on the X axis on the part of the cloud representing the patient's back. The position of the above mentioned points was determined for each cloud of the measurement sequence.

Ethical standards

All tests were performed after receiving the patient's informed consent. Agreement of the Bioethical Commission of the National Institute of Geriatrics, Rheumatology and Rehabilitation No. KBT-1/06/2019 was obtained.

Results

Positive changes were observed in the assessment of chest activity with the 4DBODY system. Figure 2 shows two fragments of point clouds, each 100 mm in height, visualized on the XY plane. The shape of the chest visibly changed during breathing. As mentioned before, two points (interior site of the chest in points mostly prominent

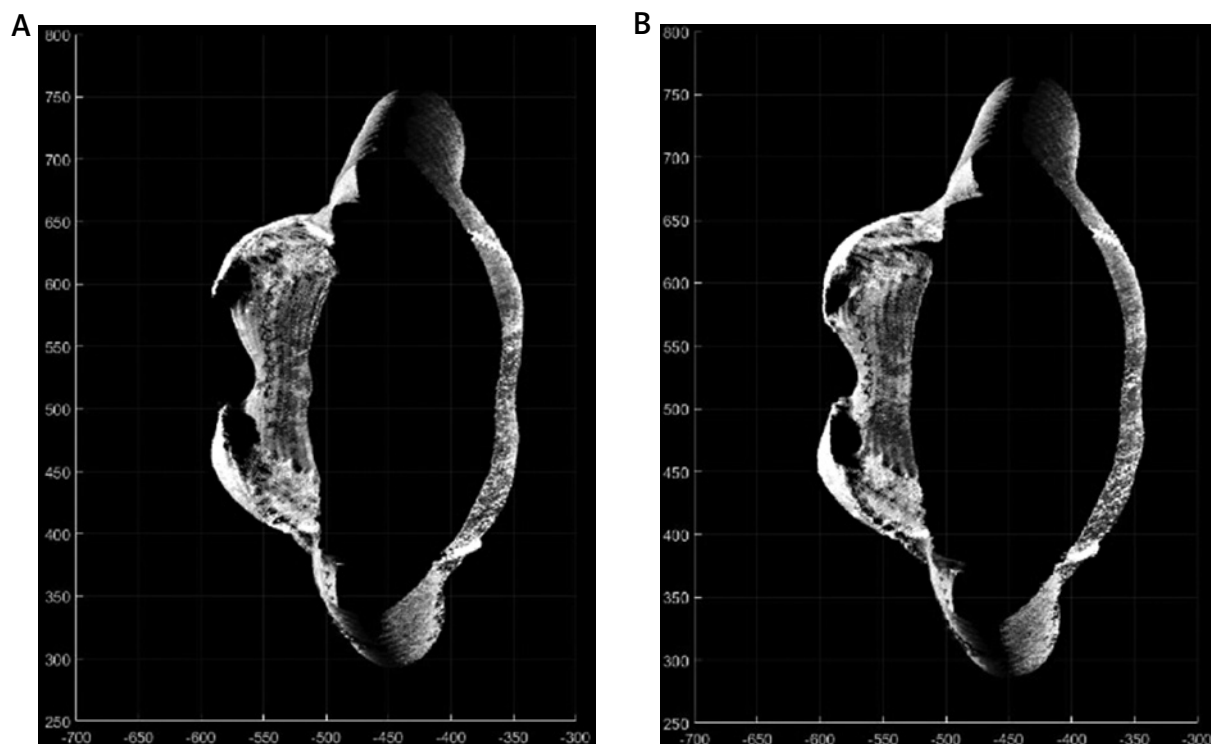


Fig. 2. The XY-plane view of the fragments of point clouds reflecting the shape of the thoracic segment of the trunk on expiration (A) and inspiration (B).

in the axial plane) on the patient's body were observed (Fig. 2).

Their relative movement is presented in Figure 3. Notably, prior to the rehabilitation the movement of the sternum was phased out in relation to the movement of the back. On inhalation, a movement in the back was observable (leaning back). It seems as if the patient used this movement to compensate for the problems with the mobility of the sternum.

Afterwards, the movement of the sternum was visible. The reflex regressed after the rehabilitation, and both the movement of the sternum and the back started and finished at the same moment. The amplitude of chest swing also changed.

Prior to the rehabilitation the range of motion between those two measurement points was 18 mm, while after the rehabilitation it increased almost by 10 mm to 27.9 mm (Table I).

We also observed changes in the angular values of spinal orientation. As regards the lumbosacral

segment the lordosis was reduced from 33° to 22°. The smallest change occurred in the thoracic spine – only 2° of kyphosis reduction. In the cervical spine the kyphosis was reduced from 44° to 39°.

Chest expansion was also improved from 25 mm prior to the treatment to 50 mm after the treatment measured at the level of the fourth intercostal space, and from 30 mm to 50 mm at Th10 level (Table II).

The present study showed that the traditional measurement revealed the expansion of the chest of 25 mm, while computed measurement revealed 18 mm in the sagittal plane prior to the therapy at the level of the fourth intercostal space. After the therapy the expansion of the chest was 50 mm based on traditional measurement and 28 mm in the sagittal plane at the level of the fourth intercostal space.

Notably, the classic method of measurement refers to the circumference of the chest, while computed quantification only shows the sagittal dimension. Therefore, the therapy was effective not only in the sagittal

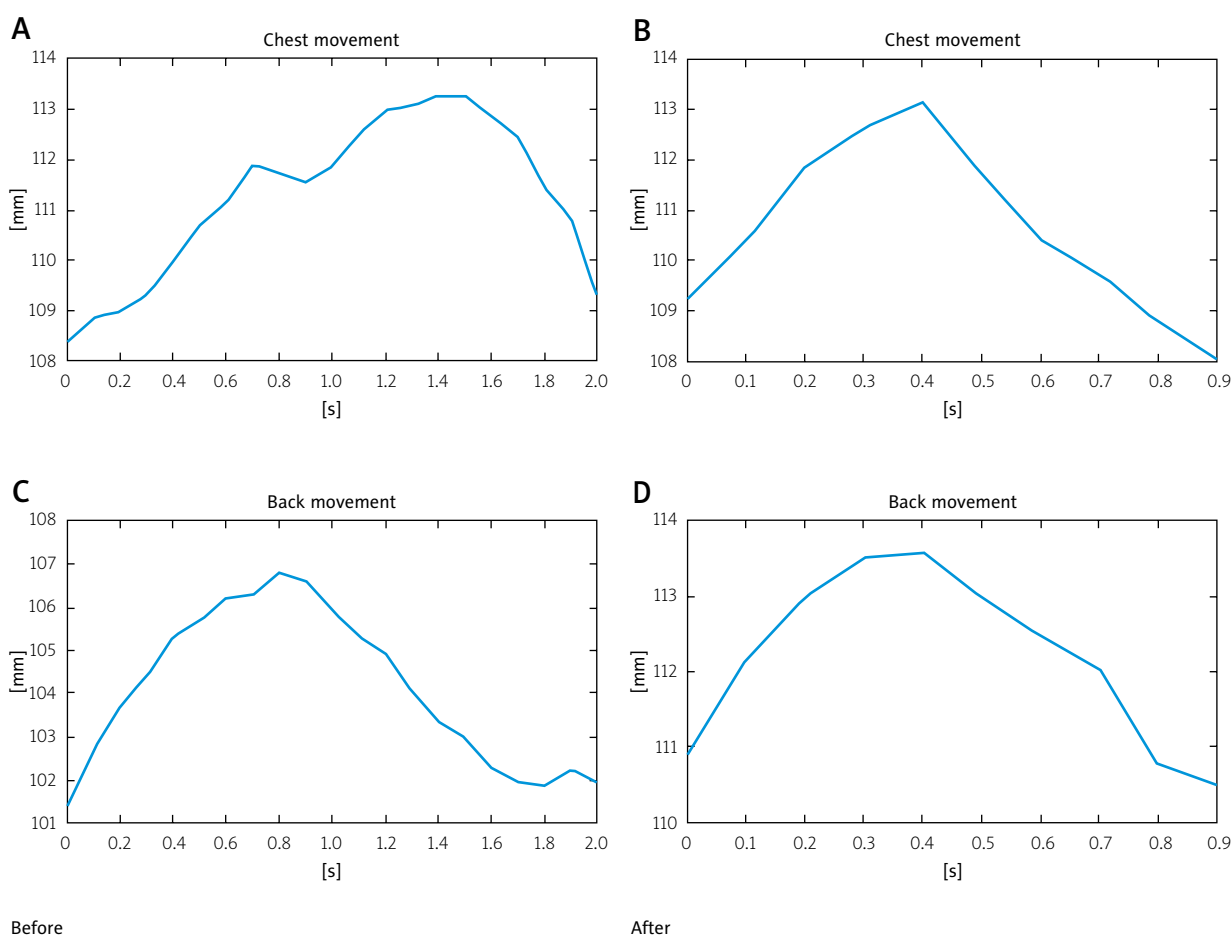


Fig. 3. Spatio-temporal movement of thorax.

dimension of the chest, but also in the complete three-plane mechanics of the ribs and chest.

Plethysmography revealed a significant increase in the respiratory muscle strength in the patient. Inspiratory muscle strength (MIP – maximal inspiratory pressure) increased from 80% to 93% of the reference ranges for the patient. Expiratory muscle strength (MEP – maximal expiratory pressure) increased from 46% to 86%. The remaining plethysmographic parameters were not so significantly changed (Table III).

Discussion

Ankylosing spondylitis patients require constant monitoring in terms of changes within the musculoskeletal system and the regular rehabilitation of the chest. Numerous methods are used for the visualization of chest mobility of AS patients.

The respiratory movement measuring instrument (RMMI) is one of the most common instruments used to visualize chest mobility. The method involves the calculation of chest mobility during inhalation using laser markers.

The patient is in a supine position, which is a disadvantage of this method, as the posterior part of the chest is excluded from the respiratory movement and the patient breathes under anti-gravitational conditions [11–13].

Optoelectronic plethysmography is another method of visualizing chest mobility. However, attaching a considerable number of markers is time-consuming, and the respiratory movement of the patient affects the sensitivity of the examination [14–19].

Moreover, a magnetometer [20] may also be used, but it mostly measures cranio-sacral movement and needs to be calibrated with a spirometer and a pneumotachograph every time. Therefore, it is very difficult to use and it is associated with a considerable number of errors [21].

Three-dimensional X-ray computed tomography (CT) using the dynamic spatial reconstructor is another form of chest imaging, but the calculation processes are performed too slowly [17].

As regards ELITE and other systems based on the analysis of markers attached to the patient's body, it was difficult to attach the markers precisely on the patient's body [21–24]. Furthermore, there were attempts at using imaging tests such as ultrasound [25] or CT [26] in the visualization of chest movement. It was difficult, though, due to the fact that they are primarily used for other purposes.

Table I. Minimal and maximal distance between two selected measurement points recorded on expiration (Min) and inspiration (Max) and the difference between them (Range) before and after therapy

Before therapy		After therapy	
Min [mm]	Max [mm]	Min [mm]	Max [mm]
200.5	218.5	198.8	227.7
Range [mm]		Range [mm]	
18.0		27.9	

Table II. Physiotherapeutic evaluation before and after therapy

Angular measurement of spinal curvatures	Before therapy	After therapy
L/S	33°	22°
Th/L	27°	25°
C/Th	44°	39°
Chest mobility measurement		
The level of the fourth intercostal space	25 [mm]	50 [mm]
The tenth vertebral body	30 [mm]	50 [mm]

C/Th – cervical-thoracic junction (C7–Th1), L/S – sacro-lumbar junction (L5–S1), Th/L – thoraco-lumbar junction (Th12–L1).

Table III. Results of plethysmography before and after therapy

Body plethysmography	Before therapy			After therapy	
	Predicted	Actual	[%]	Actual	[%]
MIP	6.69	5.36	80	6.19	93
MEP	8.52	3.89	46	7.31	86
Rtot	0.30	0.18	59	0.20	67
FRC	2.62	2.48	95	2.47	94
RV	1.44	0.68	47	0.99	69
TLC	4.77	4.12	86	4.25	89

ERV – expiratory reserve volume, FRC – functional residual capacity, MEP – maximal expiratory pressure, MIP – maximal inspiratory pressure, Rtot – total airway resistance, RV – residual volume, TLC – total lung capacity.

Ultrasound examination is additionally limited by the skills of the diagnostician and the calibration of the device in every case. Moreover, it only visualizes individual structures participating in respiration, e.g. the diaphragm, but it does not include the complete respiratory cycle.

Computed tomography is much more effective in the diagnosis of structural primary or secondary intrapulmonary lesions, but assessment of the respiratory cycle is problematic. Additionally, the patient is exposed to unfavorable radiation.

Moreover, during ultrasound or CT examinations the patient is in a lying position, with the back or side to the measurement devices, which affects the mechanics of the chest. The 4D imaging was developed thanks to the most recent technological achievements. Its effectiveness was confirmed in the present study and it may be recommended for the assessment of chest activity and monitoring therapeutic outcomes in AS patients.

The rigidity of the chest and its joints combined with pain and an abnormal respiratory pattern may lead to decreasing pulmonary function [27] and weakening respiratory muscles [28]. Research conducted by Sahin et al. [29] revealed that AS patients were characterized by significantly lower chest expansion, respiratory muscle weakness, FVC and FEV1 parameters.

Reddy et al. [30] found a significant correlation between chest expansion and the following parameters: forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in one second (FEV₁), vital capacity (VC), and FVC/FEV. Numerous authors have reported a strong correlation between the degree of chest expansion and pulmonary function and the degree of degradation of the costovertebral and costovertebral joints [31].

Apparently, even the presence of grade 4 radiological lesions according to the New York sacroiliitis radiological grading criteria [33] does not rule out the possibility of improving chest mobility in AS patients. Chest mobility is a very important quantification parameter in this group of patients. Research revealed a significant correlation between chest mobility, respiratory muscle strength and appropriate pulmonary function [32, 33].

Chest mobility is very important in terms of the functional disorders of pulmonary function and structural changes as well. Apical pulmonary fibrosis is the most common structural lesion within the pulmonary tissue in patients with AS.

The pathology occurs as a result of chest rigidity, particularly in the upper region, and in the area of the cervicothoracic junction and the scapulae. It results in reduced functional pulmonary volume and obstructed inflation of this area [34].

Therefore, it is necessary to work on the chest in AS patients, which is confirmed by the improvement ob-

tained in most of the measurements carried out in our patient. Breathing exercises are an effective and necessary element of rehabilitation, and the use of the system can be used to very precisely assess chest dysfunction and monitor its improvement in its function.

Study limitations

This study focused on the method and analysis based on data of one patient with a well-established AS diagnosis. However, the authors of this article are aware that the introduction of the system to the standard assessment of rehabilitation of AS patients requires further research in larger groups of patients.

Conclusions

Thanks to the use of the 4D scanning system, it was possible to demonstrate a multifactorial, reliable and maximally objective improvement in respiratory parameters.

The results obtained with the 4DBODY system correspond to the results of the physiotherapeutic assessment, which confirms the value of its use in treatment monitoring. From our point of view, the 4DBODY system is a promising tool for visualizing the progress of chest rehabilitation in patients with AS.

The authors declare no conflict of interest.

References

1. Zhu W, He X, Cheng K, et al. Ankylosing spondylitis: etiology, pathogenesis, and treatments. *Bone Res* 2019; 7: 22, DOI: 10.1038/s41413-019-0057-8.
2. Biernat-Stanisławska E, Świerkot J, Tłustochowicz W. [Spondyloarthropathies]. *Reumatologia* 2012; 50: 93–102 [Article in Polish].
3. Canbay O, Kose E, Oner Z, et al. An evaluation of spinal deformities and quality of life of male patients with ankylosing spondylitis. *J Turgut Ozal Med Cent* 2014; 21: 0101–0105.
4. Braun J, Sieper J. Ankylosing spondylitis. *Lancet* 2007; 369: 1379–1390, DOI: 10.1016/S0140-6736(07)60635-7.
5. Księżopolska-Orłowska K. [Physiotherapy in rheumatology]. PZWŁ Publisher, Warsaw 2013: 110–112 [Book in Polish].
6. Brambila-Tapia AJ, Rocha-Muñoz AD, Gonzalez-Lopez L, et al. Pulmonary function in ankylosing spondylitis: association with clinical variables. *Rheumatol Int* 2013; 33: 2351–2358, DOI: 10.1007/s00296-013-2723-2.
7. Karapolat H, Eyigor S, Zoghi M, et al. Are swimming or aerobic exercise better than conventional exercise in ankylosing spondylitis patients? A randomized controlled study. *Eur J Phys Rehabil Med* 2009; 45: 449–457.
8. van der Linden S, Valkenburg HA, Cats A. Evaluation of diagnostic criteria for ankylosing spondylitis. A proposal for modifications of the New York criteria. *Arthritis Rheum* 1984; 27: 361–368, DOI: 10.1002/art.1780270401.

9. Liberadzki P, Adamczyk M, Witkowski M, Sitnik R. Structured-light-based system for shape measurement of the human body in motion. *Sensors (Basel)* 2018; 18: 2827, DOI: 10.3390/s18092827.
10. Rusu RB, Marton ZC, Blodow N, et al. Towards 3D Point cloud based object maps for household environments. *Robotics and Autonomous Systems Journal* 2008; 56: 30927–30941, DOI: 10.1016/j.robot.2008.08.005.
11. Ragnarsdottir M, Geirsson AJ, Gudbjornsson B. Rib cage motion in ankylosing spondylitis patients: a pilot study. *Spine J* 2008; 8: 505–509, DOI: 10.1016/j.spinee.2006.12.009.
12. Cahalin LP, Ragnarsdottir M. Reliability, validity, and clinical utility of a novel respiratory movement measuring instrument. *Chest* 2002; 122: 207S.
13. Olsén MF, Romberg K. Reliability of the respiratory movement measuring instrument, RMMI. *Clin Physiol Funct Imaging* 2010; 30: 349–353, DOI: 10.1111/j.1475-097X.2010.00951.x.
14. Bruni GI, Gigliotti F, Scano G. Optoelectronic plethysmography for measuring rib cage distortion, optoelectronics. In: Predeep P (ed.). *Optoelectronics*. InTech 2011.
15. Faria Júnior NS, Santos IR, Dias IS, et al. Opto-electronic plethysmography: noninvasive and accurate measurement of the volume of the chest wall and its different thoraco-abdominal compartments. *Med Sci Tech* 2013; 54: 147–150, DOI: 10.12659/MST.889664.
16. Parreira VF, Vieira DS, Myrrha MA, et al. Optoelectronic plethysmography: a review of the literature. *Rev Bras Fisioter* 2012; 16: 439–453.
17. Reinaux CM, Aliverti A, da Silva LG, et al. Tidal volume measurements in infants: opto-electronic plethysmography versus pneumotachograph. *Pediatr Pulmonol* 2016; 51: 850–857, DOI: 10.1002/ppul.23394.
18. Mendes L, Britto R, Fregonezi G, et al. Optoelectronic plethysmography: reference values for breathing pattern. *Eur Respir J* 2020; 56: Suppl 64: 2871, DOI: 10.1183/13993003.congress-2020.2871.
19. Massaroni C, Carraro E, Vianello A, et al. Optoelectronic plethysmography in clinical practice and research: a review. *Respiration* 2017; 93: 339–354, DOI: 10.1159/000462916.
20. Mead J, Peterson N, Grimby G, Mead J. Pulmonary ventilation measured from body surface movements. *Science* 1967; 156: 1383–1384, DOI: 10.1126/science.156.3780.1383.
21. Carnevali P, Ferrigno G, Aliverti A, Pedotti A. A new method for 3D optical analysis of chest wall motion. *Technol Health Care* 1996; 4: 43–65.
22. Ferrigno G, Carnevali P, Aliverti A, et al. Three-dimensional optical analysis of chest wall motion. *J Appl Physiol* (1985) 1994; 77: 1224–1231, DOI: 10.1152/jappl.1994.77.3.1224.
23. Garrido-Castro JL, Medina-Carnicer R, Schiott R, et al. Assessment of spinal mobility in ankylosing spondylitis using a video-based motion capture system. *Man Ther* 2012; 17: 422–426, DOI: 10.1016/j.math.2012.03.011.
24. Aranda-Valera IC, Cuesta-Vargas A, Garrido-Castro JL, et al. Measuring spinal mobility using an inertial measurement unit system: a validation study in axial spondyloarthritis. *Diagnostics (Basel)* 2020; 10: 426, DOI: 10.3390/diagnostics10060426.
25. Ünlü E, Pamuk ÖN, Erer B, et al. Diaphragmatic movements in ankylosing spondylitis patients and their association with clinical factors: an ultrasonographic study. *Rheumatol Int* 2012; 32: 435–437, DOI: 10.1007/s00296-010-1657-1.
26. Yuksekkaya R, Almus F, Celikyay F, et al. Pulmonary involvement in ankylosing spondylitis assessed by multidetector computed tomography. *Pol J Radiol* 2014; 79: 156–163, DOI: 10.12659/PJR.889850.
27. van Noord JA, Cauberghe M, Van de Woestijne KP, et al. Total respiratory resistance and reactance in ankylosing spondylitis and kyphoscoliosis. *Eur Respir J* 1991; 4: 945–951.
28. Donath J, Miller A. Restrictive chest wall disorders. *Semin Respir Crit Care Med* 2009; 30: 275–292, DOI: 10.1055/s-0029-1222441.
29. Sahin G, Calikoğlu M, Özge C, et al. Respiratory muscle strength but not BASFI score relates to diminished chest expansion in ankylosing spondylitis. *Clin Rheumatol* 2004; 23: 199–202, DOI: 10.1007/s10067-003-0850-y.
30. Reddy RS, Alahmari KA, Silvian PS, et al. Reliability of chest wall mobility and its correlation with lung functions in healthy nonsmokers, healthy smokers, and patients with COPD. *Can Respir J* 2019; 2019: 5175949, DOI: 10.1155/2019/5175949.
31. Cerrahoglu L, Unlu Z, Can M, et al. Lumbar stiffness but not thoracic radiographic changes relate to alteration of lung function tests in ankylosing spondylitis. *Clin Rheumatol* 2002; 21: 275–279, DOI: 10.1007/s100670200073.
32. Lanza Fde C, de Camargo AA, Archija LR, et al. Chest wall mobility is related to respiratory muscle strength and lung volumes in healthy subjects. *Respir Car* 2013; 58: 2107–1207, DOI: 10.4187/respcare.02415.
33. Romberg K, Fagevik Olsén M, Kjellby-Wendt G, et al. Thoracic mobility and its relation to pulmonary function and rib-cage deformity in patients with early onset idiopathic scoliosis: a long-term follow-up. *Spine Deform* 2020; 8: 257–268, DOI: 10.1007/s43390-019-00018-y.
34. Kanathur N, Lee-Chiong T. Pulmonary manifestations of ankylosing spondylitis. *Clin Chest Med* 2010; 31: 547–554, DOI: 10.1016/j.ccm.2010.05.002.



Is there a connection between spine alignment, chest mobility, shoulder joint and respiratory parameters of patients with ankylosing spondylitis?

Daniel Szewczyk¹ · Teresa Sadura-Sieklucka² · Beata Tarnacka³ · Beata Sokołowska⁴

Received: 6 March 2024 / Accepted: 5 June 2024 / Published online: 25 June 2024

© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2024

Abstract

Introduction Ankylosing spondylitis is chronic progressive disease, which decrease functions of musculoskeletal system including chest area. Those changes influences respiratory mechanics, worsen conditions of proper ventilation of lungs.

Objectives Rating of functional and respiratory parameters and dependence between them at patients with ankylosing spondylitis.

Materials & methods The study included 45 patients with diagnosed ankylosing spondylitis. Chest and upper limbs mobility, resting spinal curvature alignment were assessed, and respiratory parameters were measured in a plethysmographic chamber JAGGER MasterScreen Body.

Results Ankylosing spondylitis patients had lower respiratory parameters especially sReff, and FRC. Restriction of chest and upper limbs mobility was also demonstrated. Forward head extension was observed based on the occipital wall test. Correlations between functional parameters and correlations between functional and respiratory parameters were shown, in particular MIP, MEP, sReff, Rtot, TLC, ERV.

Conclusions The study confirmed a decrease in functional and respiratory parameters in the examined patients with ankylosing spondylitis compared to the applicable standards. A significant relationship was found between functional parameters in the upper body and respiratory parameters, which worsen with increasing thoracic dysfunction. The obtained results indicate the directions of therapy that should be taken into account to improve respiratory parameters and reduce respiratory dysfunction in these patients. Chest-focused physiotherapy appears to be an important element in improving function in patients with ankylosing spondylitis.

Keywords Ankylosing spondylitis · Respiratory parameters · Chest mobility · Spine

Introduction

Ankylosing spondylitis (AS) is a progressive autoimmune disease that significantly and gradually impairs a patient's functional capacity. As a result of the ongoing inflammatory process, the spine stiffens and its curvature changes, which affects the patient's posture. The sacrum becomes vertically aligned, and there is a shallowing of the lumbar lordosis, thoracic hyperkyphosis, and head protraction due to the kyphotic alignment of the cervical spine [1, 2]. Patients with ankylosing spondylitis experience abnormal breathing patterns, which in turn adversely affects the results of respiratory tests [3]. Due to changes in the curvature of the spine, the entire chest and trunk work under new and inferior conditions [4, 5]. Some muscles shorten and others weaken,

✉ Teresa Sadura-Sieklucka
teresa@sieklucka.com

¹ Department of Rehabilitation, National Institute of Geriatrics, Rheumatology and Rehabilitation, Warsaw, Poland

² Department of Geriatrics, National Institute of Geriatrics, Rheumatology and Rehabilitation, Warsaw, Poland

³ Medical University of Warsaw, Warsaw, Poland

⁴ Mossakowski Medical Research Centre, Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland

with the consequence that most respiratory muscles work abnormally [6, 7]. As a result of the stiffening of the spine and intertransverse joints, there is reduced mobility and flexibility of the entire chest, especially the ribs [8]. Dysfunction of the shoulder girdle is also frequently observed, which is associated with abnormal thoracic alignment and dysfunction of the trunk muscles [9–11].

The study aimed to evaluate functional and respiratory parameters in patients with ankylosing spondylitis, and to determine the relationships between selected functional and respiratory parameters in these patients.

Patients and methods

Forty-five patients participated in the study. Patients aged 18–75 years diagnosed with AS who agreed to participate in the study were enrolled. The exclusion criteria encompassed respiratory and cardiovascular diseases, cardiac surgery, damage to the musculoskeletal system in the upper limbs (bone fractures, sprains and dislocations of joints), chest (broken ribs, sternum, clavicle), and/or other chronic diseases of the skeletal-articular system limiting mobility of the joints in the upper limbs. Due to the fact that each patient had mobility limitations in the examined areas, it was not possible to assess whether they resulted from the primary

disease or injury/surgery. Therefore, post-trauma/surgery patients were excluded from the study. In each patient, chest expansion was measured at the level of the fourth intercostal space and at the level of the shaft of the tenth thoracic vertebra using a centimeter tape. In addition, the angular alignment of the curvature of the spine was measured using a Baseline 12-1056 inclinometer and the mobility of the shoulder joint was assessed using a goniometer.

A plethysmographic study was also performed in a JAGGER MasterScreen Body plethysmographic chamber. The study evaluated the following parameters *sReff* (effective specific airway resistance), *Rtot* (total specific airway resistance), *FRC* (functional residual capacity), *ERV* (expiratory reserve volume), *RV* (residual volume), *TLC* (total lung capacity), *Rv%TLC*, *VC* (vital capacity), *MIP* (maximum inspiratory pressure), and *MEP* (maximum expiratory pressure). Since respiratory values are individually matched to patients according to their gender, height, weight, and age to standardize values, data were expressed as a percentage of values achieved to normative values. The research project was approved by the Bioethics Committee at NIGRiR, No. KBT-1/06/2019. Each participant gave written consent to participate in the study. Also, each participant was provided with information about the study, as well as the right to withdraw from the study at any time.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using STATISTICA 10.0 PL software. Values were presented as means and standard deviations. The distribution of the variables assessed by the Shapiro-Wilk test showed a non-Gaussian distribution. The non-parametric Wilcoxon test was used to assess statistical significance. Correlations between parameters were analyzed using Spearman's rank correlation coefficient. A *p*-value less than 0.05 was considered statistically significant.

Results

Forty-five patients diagnosed with ankylosing spondylitis according to the New York criteria were included in the study [12]. There were 31 men and 14 women in the study group, the average age of the subjects was 46.4 ± 12.9 (median- 43, min- 19, max- 73) years, and the average disease duration was 14.4 ± 11.6 (median- 10.5, min- 0.5, max- 48) years. The results of the study showed that in patients with ankylosing spondylitis, the values of respiratory parameters (*MIP*, *MEP*, *sReff*, *sRtot*, *FRCpl*, *ERV*, *RV*, *TLC*, *VC*) were reduced compared to normative values for healthy subjects (Table 1). The largest difference was observed in the *FRC*

Table 1 Values of measured respiratory parameters in patients with ankylosing spondylitis

Parameters	Mean $\pm$ SD
<i>MIP</i>	$80 \pm 29\%$
(median; min-max)	(75%; 19–142%)
<i>MEP</i>	$81 \pm 31\%$
(median; min-max)	(76%; 21–170%)
<i>sReff</i>	$61 \pm 21\%$
(median; min-max)	(57%; 22–105%)
<i>sRtot</i>	$80 \pm 28\%$
(median; min-max)	(73%; 26–144%)
<i>FRC</i>	$58 \pm 24\%$
(median; min-max)	(103%; 53–205%)
<i>ERV</i>	$111 \pm 28\%$
(median; min-max)	(136%; 41–235%)
<i>RV</i>	$138 \pm 47\%$
(median; min-max)	(82%; 18–242%)
<i>TLC</i>	$86 \pm 16\%$
(median; min-max)	(89%; 37–129%)
<i>Rv%TLC</i>	$97 \pm 38\%$
(median; min-max)	(93%; 22–200%)
<i>VC</i>	$85 \pm 20\%$
(median; min-max)	(87%; 38–128%)

MIP- maximal inspiratory pressure, *MEP*- maximal expiratory pressure, *sRAW*- specific airway resistance, *sRtot*- total *sRaw* (total specific airway resistance), *sReff*- effective *sRaw* (effective specific airway resistance), *FRC*- functional residual capacity, *ERV*- expiratory reserve volume, *RV*- residual volume, *TLC*- total lung capacity, *VC*- vital capacity

and sReff parameters. The patients were also characterized by limited shoulder joint mobility, limited chest expansion and head protrusion in the occiput-wall test, as shown in Table 2. The relationship between functional parameters and characteristics including age, disease duration and spinal angulation was also assessed (Table 3). Many correlations were demonstrated between functional parameters (age, disease duration, spine position, spine mobility, upper limb mobility) both among, and between respiratory parameters. The tests showed the progressive nature of the disease and the deteriorating posture of the patients due to the correlation between patient age, duration of the disease and the OWD test and the position of the cervical spine (Table 3). The positioning of the lumbar spine showed a relationship only with the thoracic spine. The thoracic spine influenced the upper limbs and the OWD test. The cervical spine had the greatest impact on OWD. When it comes to the influence of functional parameters on respiratory parameters, they are numerous (Table 4), however, the greatest influence seems to be on the TLC parameter due to the largest number of correlations to functional parameters. The VC parameter was also characterized by a large number of correlations. As for the functional parameters, the resting position of the thoracic spine exhibits the highest number of correlations with respiratory parameters.

Discussion

In the research context, a debate is developing about the relationship between spinal alignment and respiratory parameters. Numerous studies have focused on analyzing the influence of spinal alignment on respiratory function. While reports suggest that the two body spheres are inter-related, there is also much controversy and differences in interpreting study results. Studies on how spinal alignment affects respiratory parameters shed light on the complex relationship between thoracic biomechanics and respiratory function. In patients with ankylosing spondylitis, lower respiratory parameters were observed compared to healthy subjects. In terms of parameters (TLC, RAW, VC, PFT, FVC, MIP, MEP) [13–15]. Similar results were observed in our study. Patients with ankylosing spondylitis are characterized by reduced inspiratory and expiratory muscle strength [3]. Disturbed breathing patterns, decreased respiratory parameters, and reduced muscle strength significantly affect their respiratory capacity [16]. Osteoarticular dysfunctions leading to abnormal body alignment contribute to abnormal breathing patterns, as well as impaired respiratory function. Our study showed correlations between these two phenomena. Restriction of upper limb mobility, expansion of the thorax, and large distance of the occiput from the wall

Table 2 Values of selected measurements in patients with ankylosing spondylitis

Parameters	Mean ± SD (median; min-max)
Occiput to wall distance(cm) (OWD)	9 ± 17 (2; 0–51)
Right shoulder joint flexion (°) (RSF)	151 ± 21 (155; 83–176)
Right shoulder joint abduction (°) (RSA)	148 ± 21 (150; 89–179)
Left shoulder joint flexion (°) (LSF)	151 ± 24 (157; 70–180)
Left shoulder joint abduction (°) (LSA)	147 ± 29 (151; 76–180)
Chest expansion at the level of the fourth intercostal space (cm) (Th4)	4.0 ± 1.6 (4; 1.5–8)
Chest expansion at the level of the shaft of the tenth thoracic vertebra (cm) (Th10)	4.7 ± 1.7 (5; 2–9)

OWD- occiput to wall distance, Th4- chest expansion at the level of the fourth intercostal space, Th10- chest expansion at the level of the shaft of the tenth thoracic vertebra, RSF- right shoulder joint flexion, RSA- right shoulder joint abduction, LSF- left shoulder joint flexion, LSA- left shoulder joint abduction

Table 3 Values of correlation coefficients of functional parameters with age and disease duration

Parameters	Age	Disease duration	L-S	Th	C
OWD	0.41*	0.47*	-0.22	-0.52*	0.55*
TH4	-0.14	-0.12	-0.05	0.20	-0.09
TH10	-0.30*	-0.19	-0.13	-0.19	-0.22
RSF	-0.32*	-0.36*	0.11	0.25	-0.55*
RSA	-0.28	-0.32*	-0.02	0.25	-0.25
LSF	-0.12	-0.30*	0.07	0.36*	-0.29
LSA	-0.01	-0.23	0.04	0.36*	-0.12
L-S	-0.27	0.09	1.00	0.61*	-0.17
Th	-0.06	-0.18	0.61*	1.00	-0.06
C	0.44*	0.34*	-0.17	-0.06	1.00

OWD- occiput to wall distance, Th4- chest expansion at the level of the fourth intercostal space, Th10- chest expansion at the level of the shaft of the tenth thoracic vertebra, RSF- right shoulder joint flexion, RSA- right shoulder joint abduction, LSF- left shoulder joint flexion, LSA- left shoulder joint abduction, LS- lumbar spine alignment, TH- thoracic spine alignment, C- cervical spine alignment

were observed. The study found correlations between the patient's age and the head-to-wall distance in the occiput to-wall test. This result confirms the progressive nature of the disease, as well as its significant impact on patient posture. Similar results were also observed in the study by Maksymowych et al. [17]. However, no correlation was observed between chest expansion and patient age. A study by the Wirth group also found a correlation between thoracic expansion and head protraction [16]. Resting head position correlates strongly with the occipital-wall test in patients with ankylosing spondylitis. This test depends on the duration of the disease, as well as the age of the patient. Our

Table 4 Values of correlation coefficients of functional and respiratory parameters and with age and disease duration

Parameters	MIP	MEP	sReff	Rtot	Reff	FRC	ERV	RV	TLC	Rv%TLC	VCin
Age	0.17	0.16	0.28	0.31*	0.28	0.12	0.34*	-0.11	-0.02	-0.10	0.15
Disease duration	-0.11	-0.01	-0.18	-0.14	-0.13	0.19	0.27	-0.00	-0.17	0.03	0.03
OWD	-0.11	-0.11	-0.19	-0.19	-0.10	0.06	0.25	-0.05	-0.37*	0.02	-0.20
Th4	0.12	0.26	0.20	0.07	0.00	0.21	0.21	0.09	0.55*	-0.11	0.51*
Th10	0.32*	0.35*	0.16	0.22	0.07	0.18	0.26	-0.02	0.27	-0.18	0.40*
LS	0.07	0.17	0.15	0.06	0.08	-0.01	-0.18	0.23	0.3*	0.18	0.11
TH	0.23	0.32*	0.38*	0.32*	0.25	0.21	-0.04	0.14	0.35*	0.17	0.13
C	-0.01	-0.03	0.14	0.16	0.26	0.10	0.16	0.10	-0.18	0.21	-0.13
RSF	0.21	0.10	0.20	0.12	0.05	0.13	0.04	0.15	0.42*	-0.01	0.33*
RSA	0.17	0.15	0.21	0.05	-0.00	0.18	0.02	0.23	0.42*	0.10	0.22
LSF	0.33*	0.34*	0.39*	0.29	0.24	0.02	-0.01	0.06	0.39*	-0.04	0.30*
LSA	0.33*	0.35*	0.27	0.18	0.10	0.09	0.09	0.12	0.29	0.04	0.15

OWD - Occiput to Wall Distance, Th4- chest expansion at the level of the fourth intercostal space, Th10- chest expansion at the level of the shaft of the tenth thoracic vertebra, RSF- right shoulder joint flexion, RSA- right shoulder joint abduction, LSF- left shoulder joint flexion, LSA- left shoulder joint abduction, Th4- chest expansion at the level of the fourth intercostal space, Th10- chest expansion at the level of the shaft of the tenth thoracic vertebra, LS- lumbar spine alignment, TH- Thoracic spine alignment, C- cervical spine alignment. MIP- Maximal inspiratory pressure, MEP- maximal expiratory pressure, sRAW- specific airway resistance, sRtot- total sRaw(total specific airway resistance, sReff- effective sRaw(effective specific airway resistance), FRC- functional residual capacity, ERV- Expiratory reserve volume, RV- residual volume, TLC- total lung capacity, VC- vital capacity

study showed no statistically significant correlation between patient age and upper limb mobility. Maksymowych et al. [17] also confirm the results obtained. A statistically significant negative correlation was observed between upper limb mobility and disease duration, indicating a progressive, disabling course of the disease [17]. There is a correlation between the angular position of the thoracic spine and the mobility of the upper extremities [18–21]. The angular position of the cervical spine also affects the mobility of the upper limb [22]. Similar results were shown in the present study. The occiput-wall test also depends on the shape of the chest and its alignment [23]. Functionally, the spine constitutes a single unit. The alignment of the articular surfaces of the segments with respect to each other forces the alignment of the adjacent segments so that the alignment of the lumbar spine affects the alignment of the thoracic spine [24]. This relationship is inversely proportional to a decrease in lumbar lordosis and contributes to a deepening of thoracic kyphosis [25]. In both the literature [25] and our study, no correlation was observed between thoracic and lumbar spine alignment and the cervical spine. However, other studies [26, 27] have observed such a relationship. A correlation was found between chest stiffness, chest expansion and measurements of respiratory parameters, including respiratory muscle strength [3]. The lumbar spine has also been shown to correlate with respiratory parameters, which may suggest an important role of the diaphragm in these patients [28]. Not only the lumbar spine but also chest expansion, cervical spine mobility and chest mobility have been shown to correlate with respiratory parameters [29]. However, no such relationships were observed in our study. Berdal et al. [4] described correlations between spinal mobility and

respiratory parameters. The authors also observed a correlation between the occiput-wall test and lung function [4]. A negative correlation was noted between disease duration and TLC, VC parameters [13, 17]. This relationship was not observed in our study. TLC, VC parameters correlated with thoracic expansion [13]. A similar relationship was observed in our study, TLC ($r=0.55$ vs. $r=0.55$), VC ($r=0.58$ vs. $r=0.51$). Also, respiratory muscle strength (MIP, MEP) correlates with chest expansion [2]. Our study confirmed this relationship, but only at the Th10 level. A study by Culham et al. found a negative correlation between thoracic shape and thoracic expansion and TLC and VC parameters in women with osteoporosis [30]. These patients also showed reduced chest expansion, as well as changes in spinal curvature, which may speak to postural change and its respiratory correlates, as in patients with ankylosing spondylitis. Our research confirms this association in patients with ankylosing spondylitis. In contrast, studies on older women did not confirm these results [31]. Instead, they showed a correlation between lumbar spine alignment and respiratory parameters, which our study did not identify. This study also found a correlation between patient age and the ERV parameter, and between the sReff and Rtot coefficients with upper limb mobility and thoracic spine alignment. Based on imaging studies, Sadura-Sieklucka et al. [32] showed how rehabilitation in the chest area had a positive impact on the improvement of its functioning, which resulted in improved respiratory parameters. Szweczyk et al. [33] showed that rehabilitation aimed at improving motor functions had a positive effect on respiratory parameters in patients with AS.

Conclusion

The study showed that AS patients had reduced functional and respiratory parameters. The results reveal a range of mutual correlations. The study findings suggest that at least some of the respiratory problems in AS patients are correlated with dysfunctions of the musculoskeletal system in the thoracic region (the largest number of correlations were found there). These results open a new path for physiotherapy in these patients, which should be strongly concentrated on these body areas. In addition to breathing and aerobic exercises, it may be beneficial to provide this group of patients with stretching exercises that improve the range of motion and posture, and with manual therapy.

Limitations of the study

The study included only 45 participants. The group was estimated based on the literature, but it was not calculated with statistical power what group is required for certain results. The study group was not large, but it nevertheless showed a certain pattern of dysfunction among the patients. The research should be expanded to include a larger number of participants. The study group could be narrowed to be more uniform in terms of age and disease duration, while excluding the aspect of loss of range of motion related to the aging process. The study did not take into account the physical activity of the patients, which made some of them more upright (as demonstrated in the maximum plethysmography values), while some patients were less physically active. Due to the inability to perform blood tests in the ward, the current severity of the disease in patients was not taken into account, which may affect the range of motion of the upper limb and chest.

Authors contributions All authors contributed to the study conception and design. Material preparation, data collection and analysis were performed by [Daniel Szewczyk], [Teresa Sadura- Sieklucka], [Beata Tarnacka] and [Beata Sokołowska]. The first draft of the manuscript was written by [Daniel Szewczyk] and all authors commented on previous versions of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Funding No funding was received for this study.

Declarations

Conflict of interest The authors declare no conflict of interest.

References

- Braun J, Sieper J (2007) Ankylosing spondylitis. *Lancet* 369(9570):1379–1390. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)60635-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)60635-7)
- Heuft-Dorenbosch L, Vosse D, Landewé R, Spoorenberg A, Dougados M, Mielants H, van der Tempel H, van der Linden S, van der Heijde D (2004) Measurement of spinal mobility in ankylosing spondylitis: comparison of occiput-to-wall and tragus-to-wall distance. *J Rheumatol* 31(9):1779–1784
- Sahin G, Calikoğlu M, Ozge C, Incel N, Biçer A, Ulaşbaşı B, Güler H (2004) Respiratory muscle strength but not BASFI score relates to diminished chest expansion in ankylosing spondylitis. *Clin Rheumatol* 23(3):199–202. <https://doi.org/10.1007/s10067-003-0850-y>
- Berdal G, Halvorsen S, van der Heijde D, Mowe M, Dagfinrud H (2012) Restrictive pulmonary function is more prevalent in patients with ankylosing spondylitis than in matched population controls and is associated with impaired spinal mobility: a comparative study. *Arthritis Res Ther* 14(1):R19. <https://doi.org/10.1186/ar3699>
- Wang CM, Hong WH, Ho HH, Chen JY, Tsai YL, Pei YC (2019) Features of trunk muscle weakness in patients with ankylosing spondylitis: a cross-sectional study. *Biomed J* 42(2):124–130. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2019.01.001>
- Kim SY, Kim NS, Jung JH, Jo MR (2013) Effect of Forward Head posture on respiratory function in young adults. *J Korean Soc Phys Ther* 25(5):311–315
- Han J, Park S, Kim Y, Choi Y, Lyu H (2016) Effects of forward head posture on forced vital capacity and respiratory muscles activity. *J Phys Ther Sci* 28(1):128–131. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.128>
- Özbaş Günay M, Bal S, Bayram KB, Harman E, Dalgıç EE, Koçyiğit H, Gürkan A (2012) The effect of breathing and posture exercise on the clinical, functional status and disease related quality of life in patients with ankylosing spondylitis. *Med Sci* 1(2):103–117. <https://doi.org/10.5455/medscience.2012.01.103-117>
- Will R, Kennedy G, Elswood J, Edmunds L, Wachjudi R, Evison G, Calin A (2000) Ankylosing spondylitis and the shoulder: commonly involved but infrequently disabling. *J Rheumatol* 27(1):177–182
- Emery RJ, Ho EK, Leong JC (1991) The shoulder girdle in ankylosing spondylitis. *J Bone Joint Surg Am* 73(10):1526–1531
- Heneghan NR, Webb K, Mahoney T, Rushton A (2019) Thoracic spine mobility, an essential link in upper limb kinetic chains in athletes: a systematic review. *Transl Sports Med Translational Sports Med* 2(6):301–315. <https://doi.org/10.1002/tsm2.109>
- Carrera GF, Foley WD, Kozin F, Ryan L, Lawson TL (1981) CT of sacroiliitis. *AJR Am J Roentgenol* 136(1):41–46. <https://doi.org/10.2214/ajr.136.1.41>
- Feltelius N, Hedenström H, Hillerdal G, Hällgren R (1986) Pulmonary involvement in ankylosing spondylitis. *Ann Rheum Dis* 45(9):736–740. <https://doi.org/10.1136/ard.45.9.736>
- Barreiro TJ, Perillo I (2004) An approach to interpreting spirometry. *Am Fam Physician* 69(5):1107–1114
- Kapreli E, Vourazanis E, Strimpakos N (2008) Neck pain causes respiratory dysfunction. *Med Hypotheses* 70(5):1009–1013. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2007.07.050>
- Romagnoli I, Gigliotti F, Galarducci A, Lanini B, Bianchi R, Cammelli D, Scano G (2004) Chest wall kinematics and respiratory muscle action in ankylosing spondylitis patients. *Eur Respir J* 24(3):453–460. <https://doi.org/10.1183/09031936.04.00123903>
- Maksymowych WP, Gooch KL, Wong RL, Kupper H, van der Heijde D (2010) Impact of age, sex, physical function, health-related quality of life, and treatment with adalimumab on work status and work productivity of patients with ankylosing spondylitis. *J Rheumatol* 37(2):385–392. <https://doi.org/10.3899/jrheum.090242>
- Barrett E, O’Keeffe M, O’Sullivan K, Lewis J, McCreesh K (2016) Is thoracic spine posture associated with shoulder pain,

- range of motion and function? A systematic review. *Man Ther* 26:38–46. <https://doi.org/10.1016/j.math.2016.07.008>
19. Crosbie J, Kilbreath SL, Hollmann L, York S (2008) Scapulohumeral rhythm and associated spinal motion. *Clin Biomech (Bristol Avon)* 23(2):184–192. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2007.09.012>
 20. Mete O, Oskay D, Tufan A (2017) The relationships between thoracic region involvement and functions of upper extremity, scapular kinematics in patients with ankylosing spondylitis: pilot study. *Annual European Congress of Rheumatology, Madrid, İspanya, 14–17 Haziran 2017*. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2017-eular.5869>
 21. Kebaetse M, McClure P, Pratt NA (1999) Thoracic position effect on shoulder range of motion, strength, and three-dimensional scapular kinematics. *Arch Phys Med Rehabil* 80(8):945–950. [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(99\)90088-6](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(99)90088-6)
 22. Zawadka M, Kloc J, Fijewski A (2016) Resting scapular position and the mobility of the cervical spine in subjects practicing volleyball. *Pol J Sports Med* 32(3):165–172. <https://doi.org/10.5604/1232406X.1224431>
 23. Vosse D, van der Heijde D, Landewé R, Geusens P, Mielants H, Dougados M, van der Linden S (2006) Determinants of hyperkyphosis in patients with ankylosing spondylitis. *Ann Rheum Dis* 65(6):770–774. <https://doi.org/10.1136/ard.2005.044081>
 24. Jang JS, Lee SH, Min JH, Maeng DH (2009) Influence of lumbar lordosis restoration on thoracic curve and sagittal position in lumbar degenerative kyphosis patients. *Spine (Phila Pa 1976)* 34(3):280–284. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318191e792>
 25. Lee SH, Son ES, Seo EM, Suk KS, Kim KT (2015) Factors determining cervical spine sagittal balance in asymptomatic adults: correlation with spinopelvic balance and thoracic inlet alignment. *Spine J* 15(4):705–712. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2013.06.059>
 26. Hardacker JW, Shuford RF, Capicotto PN, Pryor PW (1997) Radiographic standing cervical segmental alignment in adult volunteers without neck symptoms. *Spine (Phila Pa 1976)* 22(13):1472–1480 discussion 1480. <https://doi.org/10.1097/00007632-199707010-00009>
 27. Smith J, Lafage V, Klineberg E, Shaffrey C, Schwab F, Mundis G, Hart R, Bess R, Hostin S, Burton R, Gupta D, Deviren M, Ames V C (2011) Correction of sagittal malalignment with pedicle subtraction osteotomy results in reciprocal improvement of cervical lordosis. *Spine J* 11(10):S106–S107. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2011.08.265>
 28. Cerrahoglu L, Unlu Z, Can M, Goktan C, Celik P (2002) Lumbar stiffness but not thoracic radiographic changes relate to alteration of lung function tests in ankylosing spondylitis. *Clin Rheumatol* 21(4):275–279. <https://doi.org/10.1007/s100670200073>
 29. Wirth B, Amstalden M, Perk M, Boutellier U, Humphreys BK (2014) Respiratory dysfunction in patients with chronic neck pain - influence of thoracic spine and chest mobility. *Man Ther* 19(5):440–444. <https://doi.org/10.1016/j.math.2014.04.011>
 30. Culham EG, Jimenez HA, King CE (1994) Thoracic kyphosis, rib mobility, and lung volumes in normal women and women with osteoporosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 19(11):1250–1255. <https://doi.org/10.1097/00007632-199405310-00010>
 31. Horie J, Murata S, Inoue Y, Nakamura S, Maeda Y, Matsumoto Y, Sannomiya T, Horikawa E (2009) A study of the influence of the pulmonary function on the angles of thoracic kyphosis and lumbar lordosis in community-dwelling elderly women. *J Phys Ther Sci* 21(2):169–172. <https://doi.org/10.1589/jpts.21.169>
 32. Sadura-Sieklucka T, Szewczyk D, Liberacki P, Paśko S, Woźdasiewicz P, Targowski T (2023) The 4D BODY system as a new tool for chest mobility assessment in patients with ankylosing spondylitis. *Rheumatology* 61(5):353–359. <https://doi.org/10.5114/reum/173022>
 33. Szewczyk D, Sadura-Sieklucka T, Tarnacka B, Targowski T (2023) Influence of Manual Therapy and stretching exercises on mobility status and pulmonary function tests among patients with Ankylosing Spondylitis. *Med Rehabil* 27(3):60–65. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.0124>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Springer Nature or its licensor (e.g. a society or other partner) holds exclusive rights to this article under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s); author self-archiving of the accepted manuscript version of this article is solely governed by the terms of such publishing agreement and applicable law.

Influence of Manual Therapy and Stretching Exercises on Mobility Status and Pulmonary Function Tests Among Patients with Ankylosing Spondylitis

Wpływ terapii manualnej i ćwiczeń rozciągających na stan funkcjonalny oraz czynnościowe parametry oddechowe pacjentów z Zesztywniającym zapaleniem stawów kręgosłupa

Daniel Szewczyk^{1 (ABCF)}, Teresa Sadura-Sieklucka^{2 (ADE)}, Beata Tarnacka^{1 (AE)}, Tomasz Targowski^{2 (AEF)}

¹ Department of Rehabilitation, National Institute of Geriatrics, Rheumatology and Rehabilitation, Warsaw, Poland

² Department of Geriatrics National Institute of Geriatrics, Rheumatology and Rehabilitation, Warsaw, Poland

Keywords

ankylosing spondylitis, respiratory parameters, respiratory muscles

Abstract

Introduction: AS (ankylosing spondylitis) is a systemic disease that impairs entire body functioning of a patient. The most common dysfunctions concern the area of the chest, spine and upper limb. As a consequence of these dysfunctions, the lungs of patients work in abnormal conditions, impairing their functioning.

Objectives: The aim of the study is assessing the impact of rehabilitation among patients with AS on functional and respiratory parameters.

Material and methods: The study comprised 45 patients divided into two groups. For 25 patients in the group rehabilitation was focused on manual therapy (TM) while 20 patients were rehabilitated on the basis of stretching exercises (SE). As part of improvement progress assessment, the following were measured: upper limb mobility, chest expansion, Occiput to Wall Distance test, spinal angle, functional examination of the respiratory system, the Bath AS Disease Activity Index (BASDAI), Bath AS Functional Index (BASFI) and Pain Disability Index (PDI) questionnaires.

Results: After rehabilitation, the Occiput to Wall Distance test also improved expansion of the chest. The BASDAI, BASFI, questionnaires and the VAS scale improved in both study groups. Among respiratory parameters, inspiratory and respiratory muscle strength further increased.

Conclusions: Rehabilitation is a very effective form of improving the patient's functional status and should be an indispensable element of the patient's treatment. Both manual therapy and stretching exercises have been shown to be successful.

Słowa kluczowe

ZZSK, parametry oddechowe, mięśnie oddechowe

Streszczenie

Wprowadzenie: ZZSK (*Zesztywniające zapalenie stawów kręgosłupa*) to choroba ogólnoustrojowa, upośledzająca funkcjonowanie całego ciała pacjenta. Najczęstsze dysfunkcje dotyczą klatki piersiowej, kręgosłupa oraz kończyn górnych. W wyniku tych dysfunkcji płuca pacjentów pracują w nieprawidłowych warunkach, co upośledza ich działanie.

Cele: Ocena wpływu rehabilitacji i terapii manualnej pacjentów z ZZSK na parametry funkcjonalne i oddechowe.

Material i metoda: W badaniach uczestniczyło 45 pacjentów, podzielonych na dwie grupy. 25 pacjentów w grupie skoncentrowanej na terapii manualnej (TM) oraz 20 pacjentów skoncentrowanych na ćwiczeniach rozciągających (SE). U pacjentów zmierzono: ruchomość kończyny górnej, rozszerzalność klatki piersiowej, test potylicy-ściana, kątowne ustawienie kręgosłupa, badanie czynnościowe układu oddechowego (całkowita pojemność płuc (TLC), czynnościowa pojemność zalegająca (FRC), ob-

The individual division of this paper was as follows: A – research work project; B – data collection; C – statistical analysis; D – data interpretation; E – manuscript compilation; F – publication search

Article received: 08 Jan. 2023 / accepted: 07 Oct. 2023

Please cite as: Szewczyk D., Sadura-Sieklucka T., Tarnacka B., Targowski T. Influence of Manual Therapy and Stretching Exercises on Mobility Status and Pulmonary Function Tests Among Patients with Ankylosing Spondylitis. Med Rehabil 2023; 27(3): 60-65. DOI: 10.5604/01.3001.0054.0124

Internet version (original): www.rehmed.pl

This article is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License CC BY-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

jętość zalegająca (RV), opór dróg oddechowych (sRaw), pojemność życiowa płuc (VCin), oraz kwestionariuszy Bath AS Disease Activity Index (BASDAI), Bath AS Functional Index (BASFI), oraz Pain Disability Index (PDI).

Wyniki: Po rehabilitacji test potylicy ściana uległ poprawie o 18%, rozszerzalność klatki piersiowej o 62% w grupie TM oraz odpowiednio 15% oraz 19% w grupie SE. Kwestionariusz BASDAI uległ poprawie o 35%, BASFI o 77%, PDI o 34% w grupie TM, oraz odpowiednio 12,5%, 9%, 10% w grupie SE. VAS obniżył się o 45% w grupie TM oraz 14% w grupie SE. Pośród parametrów oddechowych siła mięśni wdechowych uległa poprawie o 18 punktów procentowych TM oraz 12 SE, siła mięśni wydechowych uległa poprawie o 12 punktów procentowych w grupie TM.

Wnioski: Rehabilitacja jest skuteczną formą poprawy stanu funkcjonalnego pacjenta i powinna być nieodzownym elementem leczenia pacjenta. Zarówno terapia manualna jak i ćwiczenia rozciągające okazały się skuteczne.

INTRODUCTION

AS (ankylosing spondylitis) is an autoimmune, systemic disease affecting various areas of a patient's body. Pain and stiffness are characteristic of this disease. It initially occurs in the buttock area, then further in the lumbar region, finally affecting increasingly higher segments of the spine. As a result of autoimmune changes, structural and functional destruction of the patient's tissues occurs. The main tissue changes concern the spine, but they may also primarily or secondarily occur in peripheral joints and internal organs. The patient's posture is distinctive, characterised by a vertical position of the sacrum, shallowing of lumbar lordosis and deepening of thoracic kyphosis. So-called 'bamboo stick'¹ lumbar spine positioning is also typical. Distinguishing symptoms in the course of these changes are primarily pain in the lumbar spine and/or other sections of it, with varying clinical expression. These changes also affect the sacroiliac joints. Increasing stiffness, which over time limits mobility in subsequent segments of the spine and chest, causes gradual stiffening of the patient's entire body, which further influences changes in spinal curvature. Gradually, mobility of the upper and lower limbs, as well as that of the ribs and the spine itself, becomes limited. This disease additionally poses negative threats to the lungs, contributing to their improper functioning². The reduction in lung volume of patients with AS is also caused by thorax mechanical restriction. Stiffening of the chest and its joints, combined with pain and inappropriate breathing patterns, may lead to reduced lung function³ and weakening of the respiratory muscles⁴, as a result of which, functional parameters of the

lungs (VC, FEV1, RV, FRC, TLC) are reduced⁵. In research, a correlation has been shown between chest dysfunctions (limited mobility, stiffness) and the functional condition of the lungs⁶. The literature contains many different forms of rehabilitation with varying effectiveness used to improve AS patients, especially in the area of respiratory parameters⁷. Therefore, an attempt was made to verify whether manual therapy and stretching exercises have impact on the improvement of respiratory parameters.

STUDY AIM

The aim of the study was to answer the following questions:

1. Does rehabilitation affect the respiratory and functional parameters of an AS patient?
2. Is manual therapy an effective form of rehabilitation for patients with AS in a respiratory and functional context?
3. Are stretching exercises an effective form of improving the respiratory and functional health of patients with AS?

MATERIALS AND METHODS

The study involved 45 patients with AS diagnosed according to the modified New York criteria⁸. The study included patients between the age of 18 and 75 with AS staying at the Rehabilitation Clinic of the National Institute of Geriatrics, Rheumatology and Rehabilitation in Warsaw. The study was approved by the Bioethics Committee of the NIGRiR – KBT-1/06/2019. Patients provided voluntary consent to participate in the study by signing a consent questionnaire and received information about the course of the

study as well as its potential side-effects. They were also informed that they could refuse to participate in or complete the study at any time during the course of the trial. The exclusion criteria concerned respiratory and cardiovascular diseases, cardiac surgery, damage to the musculoskeletal system in the upper limbs (bone fractures, sprains and dislocations of joints), chest (broken ribs, sternum, clavicle), and/or other chronic diseases of the skeletal-articular system limiting mobility of the joints in the upper limbs. Due to the fact that each patient had mobility limitations in the examined areas, it was not possible to assess whether they resulted from the primary disease or injury/surgery. Therefore, post-trauma/surgery patients were excluded from the study.

The rehabilitation of all patients included: cryochamber treatment, general rehabilitation, breathing and total weight-bearing exercises. The subjects were randomly divided into two groups. The (TM) group received an additional 30 minutes of therapy each day, according to a scheme developed by the researchers, taking individual needs of the patients into account. Physiotherapy was mainly focused on improving the functions of the chest and thoracic spine. In Table 1, the key areas and the sequence in which the therapist works are shown. Manual work included various elements of therapeutic methods such as: joint, functional and soft tissue mobilisation, fascial therapy and muscle energy techniques. In the group of stretching exercises (SE), such were applied to stretch the main muscle groups (pectoral muscles, latissimus dorsi, scalene muscles, sternocleidomastoid muscles, rhomboid muscles, trapezius muscles, spinal extensors, trapezius lumborum muscles) using active and positional stretch-

Table 1

Rehabilitation scheme in the group (TM)	
Day	Area of work
1.	Anterior neck area (sternocleidomastoid muscle, infrahyoid and suprahyoid muscles, anterior neck fascia).
2.	Lateral and posterior neck area (scalene muscles, trapezius muscles and nuchal fascia).
3.	Clavicle area (subclavicular, sternocleidomastoid and pectoral muscles) and mobilisation of the first rib.
4.	Sternum area (sternal fascia, thoracic fascia, mobilisation of sterno-rib joints).
5.	Shoulder blade area (rhomboid, round and serratus anterior muscles), erector spinae in the thoracic area, respiratory diaphragm.
6.	Shoulder area (pectoral, latissimus dorsi, deltoid and biceps muscles).
7.	Thoracic spine area (mobilisation of intertransverse joints and ligaments), respiratory diaphragm.
8.	Thoracic spine area (mobilisation of costo-transverse joint, intercostal muscle and fascia on the lateral side of the chest).
9.	Cervico-thoracic and thoraco-lumbar transition area (joint mobilisations), diaphragm branches.
10.	Atlanto-occipital transition area, suboccipital muscles.

ing methods. The choice of manual therapy and stretching exercises resulted from promising research results⁷ as well as many years of experience in working with patients suffering from AS. Rehabilitation took place every day for 10 business days. Patients from both groups were examined on the first day of rehabilitation and after 10 days of treatment. The TM group included 10 women (40%) and 15 men (60%), the mean age of this group of patients being 51.25 ± 12.46 years, and the average duration of the disease totalling 18.24 ± 12.78 years. The SE group consisted of 20 patients, including 16 men (80%) and 4 women (20%). The average age of patients in this group was 40.9 ± 11.53 years, and the average duration of the disease averaged 9.70 ± 7.8 years.

The baseline and final examination of all patients was performed by the same therapist. The following were assessed: upper limb range of motion (flexion, abduction) using a goniometer, chest expansion (difference between maximum inhalation and exhalation) measured at the level of the fourth intercostal space and at the level of the tenth thoracic vertebral body. The Occiput to Wall Distance test was also performed (with the patient standing against the wall, the distance from the occipital protuberance to the wall was measured)

using a tailor’s measuring tape. Angular positioning of the spine was evaluated using an inclinometer (the inclinometer is zeroed vertically, then the angle of the lumbar-sacral transition L5-S1 is measured). Following, the inclinometer is zeroed at this level. After that, the measurement of the thoracolumbar transition T12-L1 is performed and the inclinometer is zeroed at this level. Then, the cervical-lumbar transition thoracic (C7-Th1) was evaluated. Functional examination of the respiratory system was performed in a plethysmographic chamber (Jaeger Masterscreen Body). Typical respiratory parameters were measured, such as: respiratory muscle strength - maximal inspiratory pressure (MIP), maximal expiratory pressure (MEP), lung volume measurements - total lung capacity (TLC), functional residual capacity (FRC), residual volume (RV), specific airway resistance (sRaw), vital capacity (VCin). The functional status of patients with AS was also assessed using the Bath AS Disease Activity Index (BASDAI), the Bath AS Functional Index (BASFI) and the Pain Disability Index (PDI) questionnaires.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using the STATISTICA 10.0 PL program. Values are presented as means

and standard deviations. Group distribution was assessed via the Shapiro-Wilk test, which did not demonstrate normal group distribution. Therefore, the non-parametric Wilcoxon Test was used to assess the statistical significance of the values before and after therapy. Values below $p < 0.05$ were considered statistically significant.

RESULTS

Both manual therapy and therapeutic procedures based on stretching exercises proved to be effective and improved all tested parameters for the chest (expansion at the level of the fourth intercostal space and Th10) and upper limb (flexion, abduction) (Table 2). Thoracic mobility at the level of the fourth intercostal space improved by 62% ($p < 0.001$) and 47% ($p < 0.005$) at the level of the tenth thoracic body in the TM group, and by 19% ($p < 0.001$) and 17% ($p < 0.05$) in the SE group. Upper limb mobility improved in flexion improved by 9% ($p < 0.001$) (right limb) and 9% ($p < 0.001$) (left limb) in the TM group, and by 3% ($p < 0.001$) and 1% ($p > 0.05$) in the SE group. Improvement was also noted for the abduction movement by 10% ($p < 0.05$) and 12% ($p < 0.001$) in the TM group and 2% ($p < 0.05$) and 1% ($p > 0.05$) in the SE group. In the Occiput to Wall Distance test, the improvement was 18% ($p < 0.001$) in the TM group and 15% ($p < 0.05$) in the SE group. Changes in spine curvatures turned out to be statistically insignificant. It was only the change in the position of the cervico-thoracic transition (decreased kyphotic position of the spine) in the TM group that turned out to be statistically significant (7%) ($p < 0.05$). In the tests, statistically significant improvements were also achieved in both groups, except for the PDI questionnaire in the SE Group, which turned out not to be of any statistical significance. In the BASDAI questionnaire, the improvement increased by 35% ($p < 0.001$) in the TM group and 12.5% ($p < 0.001$) in the SE group. In the BASFI questionnaire, 77%

Table 2
Comparing functional assessment results among patients in the study groups before and after therapy

Examined variables (mean ± SD) Pre-therapy Post-therapy			TM Group				SE Group			
			Pre-therapy	Post-therapy	D	p-value	Pre-therapy	Post-therapy	D	p-value
Occiput to Wall Distance test (OWD) (cm)			9.5±11.8	7.8±10.2	1.7	<0.001	4±6.3	3.4±5.3	0.6	<0.05
Chest mobility at the level of the 4 th inter-coastal space (cm)			3.7±1.6	6±2	2.3	<0.001	4.2±1.6	5±2	0.8	<0.005
Chest mobility at the level of the 10 th thoracic vertebra (cm)			4.7±1.8	6.9±18	2.2	<0.001	4.7±1.8	5.5±1.7	0.8	<0.05
Shoulder joint mobility	Flex-ion (°)	P	147±25.5	159.7±18.6	12.7	<0.001	155.7±10.8	160±10.6	4.3	<0.001
		L	143±28.3	155.7±26.7	12.7	<0.001	155.1±19.3	156.9±23.5	1.8	<0.05
	Ab-duc-tion (°)	P	144.2±29.2	159.2±23.3	15	<0.05	159.9±12.1	163.2±13.5	3.3	<0.05
		L	138.8±33	154.8±27.4	16	<0.001	157.3±17.6	159.5±20.2	2.2	>0.05
Spine position L/S (°)			13.7±8	12.4±6	1.3	>0.05	11±5.5	11.5±5.3	0.5	>0.05
Spine position Th/L (°)			26.5±10.5	24.9±11	1.6	>0.05	27.3±10	27.4±9.4	0.1	>0.05
Spine position c/Th (°)			53±11.7	49.3±11.4	3.7	<0.05	51.8±10.2	49±9.2	2.8	>0.05
D – difference; SD – standard deviation										

Table 3
Comparing results of functional status and pain level assessment based on questionnaires in the study groups before and after therapy

Questionnaires (points)	TM Group				SE Group			
	Pre-therapy	Post-therapy	Difference	p-value	Pre-therapy	Post-therapy	Difference	p-value
BASDAI (mean)	3.53	2.28	1.25	<0.001	3.44	3.01	0.43	<0.001
BASFI (mean)	3.42	0.80	2.62	<0.001	2.92	2.66	0.26	<0.001
PDI (mean)	2.82	1.87	0.95	<0.001	2.74	2.46	0.28	>0.05
VAS (mean)	3.76	2.08	1.68	<0.001	3.85	3.3	0.55	<0.05
BASDAI – Bath AS Disease Activity Index; BASAFI – Bath AS Functional Index; PDI – Pain Disability Index; VAS – Visual Analogue Scale								

($p<0.001$) in TM and 9% ($p<0.001$) improvements were noted in SE. In the PDI questionnaire, increases by 34% ($p<0.001$) in TM and 10% ($p>0.05$) in SE were noted. Pain expressed on the VAS scale decreased by 45% ($p<0.001$) in the TM group and by 14% ($p<0.05$) in the SE group (Table 3). Changes in lung function are presented in Table 4. The results turned out to be statistically insignificant (sR eff, Rtot, Reff, FRCpl, ERV, RV, TLC, rv%TLC, VCin). The improvement in inspiratory muscle

strength turned out to be statistically significant in both groups: 18% ($p<0.001$) TM, 12% ($p<0.001$) SE and expiratory muscle strength only in the TM group (14%) ($p<0.001$). The improvement in expiratory muscle strength in the SE group was statistically insignificant (4%) ($p>0.05$). After completing the intervention, patients from the TM group achieved normative values in parameters (MIP-100% of the population mean, and MEP-99% of the population mean). The population mean was calculated

on the basis of patients' gender, age, body height and mass, while patients from the SE group still remained below the norm (MIP-89% of the population mean, MEP-81% of the population mean) (Table 4).

DISCUSSION

The results of numerous studies allow to confirm effectiveness regarding various forms of rehabilitation for patients suffering from AS⁹⁻¹¹. The

Table 4

Comparing results of respiratory function tests in the study groups before and after therapy								
Variables	Grupa TM				Grupa SE			
	Pre-therapy	Post-therapy	Difference	p-value	Pre-therapy	Post-therapy	Difference	p-value
MIP	82%	100%	18%	<0.001*	77%	89%	12%	<0.001*
MEP	85%	99%	14%	<0.001*	77%	81%	4%	0.099
sR eff	65%	74%	9%	0.051	56%	66%	10%	0.068
sR tot	86%	86%	0%	0.667	74%	78%	4%	0.519
sR eff	62%	67%	5%	0.174	53%	62%	9%	0.073
FRCpl	113%	112%	-1%	0.925	108%	105%	-3%	0.601
ERV	161%	160%	-1%	0.988	113%	112%	-1%	0.985
RV	84%	91%	7%	0.183	102%	107%	5%	0.469
TLC	88%	91%	3%	0.290	84%	90%	6%	0.044*
rv%TLC	88%	92%	4%	0.527	109%	113%	4%	0.445
VCin	93%	96%	3%	0.151	76%	80%	4%	0.147

MIP – maximal inspiratory pressure; MEP – maximal expiratory pressure; sRAW – specific airway resistance; sR tot – total specific airway resistance; sReff – effective specific airway resistance; FRC – functional residual capacity; ERV – expiratory reserve volume; RV – residual volume; TLC – total lung capacity; VCin – inspiratory vital capacity

most common form of rehabilitation in this group of patients are general group exercises aimed at stretching the main muscle groups¹²⁻¹⁴. However, the use of manual therapy in this group of patients is no longer so customary. Manual therapy includes both soft tissue techniques, the therapeutic effects of which in AS are more effective than those of traditional kinesiotherapy¹⁵⁻¹⁶, and manual joint mobilisations, the effectiveness of which has also been confirmed in all the largest schools of manual therapy¹⁷⁻²⁰. They even turned out to be higher than in classical physical rehabilitation²¹⁻²². The effectiveness of modern therapeutic methods is confirmed by Dembowski’s research²³. A similar therapeutic model was presented in the EM study conducted by Silva. However, the duration of therapy was much shorter in our research (2 weeks) compared to that carried out by Silva²⁴ (over 16 weeks). In our research, the therapy was mainly focused on the chest, upper limb girdle and cervical spine, while in Silva’s research, it concerned the entire body.

Common dysfunctions occurring in AS patients include joint stiffness, limited mobility and pain in the shoulder joint²⁵⁻²⁶. In several studies, it has been shown that there is a strong relationship between the position of the thoracic spine and its mobility²⁷ as well as range of mobil-

ity in the shoulder joint²⁸⁻³⁰. Deepening thoracic kyphosis reduces range of motion in the shoulder joint, especially with regard to flexion and abduction movements³¹. Rehabilitation also effectively improves the quality of functioning for AS patients expressed in the BASDAI, BASFI and BASMI questionnaires¹⁶. In our research, improvement in these parameters was achieved (Table 3). Similar results were obtained in the study by Gur Kabul¹⁶, in which the duration of rehabilitation was similar and lasted 12 sessions. Widberg’s research²¹ also allows to confirm the efficacy of targeted rehabilitation in improving the functional status of patients with AS.

In the presented study, in both groups (TM, SE), the therapeutic effect on respiratory parameters turned out to be small (Table 4) and statistically insignificant. In studies³¹⁻³⁴ in which the number and form of conducted therapies were similar, comparable results were achieved as in our study. However, in studies³⁶⁻³⁸ in which the duration of therapy was much longer, significant changes in respiratory parameters were observed.

We believe that the presented study requires continuation and extension. The fact is that both manual therapy and stretching exercises prove to be an effective form of rehabilitation. Therefore, a justified solution seems

to be combining both of these therapeutic methods as well as extending the rehabilitation period.

CONCLUSIONS

The obtained research results allow the following conclusions to be formulated:

1. Rehabilitation is an effective form of work that provides positive results in the functioning of patients with AS. Both the exercise and manual procedures turned out to be very successful, both in a functional context (improving the mobility of the chest and upper limb) as well as with regard to improving respiratory muscle strength. However, no improvement was achieved in functional respiratory parameters.
2. Manual therapy is a very effective form of rehabilitation for patients with AS. Significant improvement in the mobility of the chest and upper limbs was noted. The respiratory muscles were also strengthened. Nevertheless, no improvement in functional respiratory parameters was observed.
3. Stretching exercises improve the functional status of patients with AS. The mobility of the chest and upper limb also improved. Nonetheless, stretching exercises turned

out to be ineffective in improving respiratory parameters, while improvement was only observed for strength of the inspiratory muscles.

The study was approved by the Bioethics Committee of the NIGRIr – KBT-1/06/2019.

References

- Braun J., Sieper J. Ankylosing spondylitis. *Lancet* 2007; 369(9570): 1379-1390.
- Kanathur N., Lee-Chiong T. Pulmonary manifestations of ankylosing spondylitis. *Clin Chest Med* 2010; 31(3): 547-554.
- van Noord J.A., Cauberghe M., Van de Woestijne K.P., Demedts M. Total respiratory resistance and reactance in ankylosing spondylitis and kyphoscoliosis. *Eur Respir J* 1991; 4(8): 945-951.
- Donath J., Miller A. Restrictive chest wall disorders. *Semin Respir Crit Care Med* 2009; 30(3): 275-292.
- van der Esch M., van 't Hul A.J., Heijmans M., Dekker J. Respiratory muscle performance as a possible determinant of exercise capacity in patients with ankylosing spondylitis. *Aust J Physiother* 2004; 50(1): 41-5.
- Cerrahoglu L., Unlu Z., Can M. et al. Lumbar stiffness but not thoracic radiographic changes relate to alteration of lung function tests in ankylosing spondylitis. *Clin Rheumatol* 2002; 21(4): 275-279.
- Saracoglu I., Kurt G., Okur E.O. et al. The effectiveness of specific exercise types on cardiopulmonary functions in patients with ankylosing spondylitis: a systematic review. *Rheumatol Int* 2017; 37(3): 409-421.
- Carrera G.F., Foley W.D., Kozin F. et al. CT of sacroiliitis. *Am J Roentgenol* 1981; 136: 41-46.
- Cwanek J.B. Kształt kręgosłupa piersiowo-lędźwiowego w IV okresie zesztywniającego zapalenia stawów kręgosłupa w zależności od stosowanego leczenia. *Probl Nauk Stosow* 2016; 5: 133-138 (in Polish).
- Kasapoglu Aksoy M., Birtane M., Taştekin N., Ekuklu G. The effectiveness of structured group education on ankylosing spondylitis patients. *J Clin Rheumatol* 2017; 23(3): 138-143.
- Liang H., Xu L., Tian X. et al. The comparative efficacy of supervised- versus home-based exercise programs in patients with ankylosing spondylitis: A meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 2020; 99(8): e19229.
- van Tubergen A., Hidding A. Spa and exercise treatment in ankylosing spondylitis: fact or fancy? *Best Pract Res Clin Rheumatol* 2002; 16(4): 653-666.
- Analay Y., Özcan E., Karan A. et al. The effectiveness of intensive group exercise on patients with ankylosing spondylitis. *Clin Rehabil* 2003; 17(6): 631-636.
- Dagfinrud H., Kvien T.K., Hagen K.B. Physiotherapy interventions for ankylosing spondylitis. *Cochrane Database Syst Rev* 2008; 2008(1): CD002822.
- Mohanty P. Effectiveness of soft tissue mobilisation as an adjunct to the conventional therapy in patients with ankylosing spondylitis. *J Nov Physiother Rehabil* 2018; 2: 001-014.
- Gur Kabul E., Basakci Calik B., Oztup M., Cobankara V. The efficacy of manual soft-tissue mobilization in ankylosing spondylitis: A randomized controlled study. *Int J Rheum Dis* 2021; 24(3): 445-455.
- Park S.E., Kim B.K., Lee S.B. et al. Effects of central and unilateral posteroanterior mobilization on cervical lordosis, muscle stiffness and ROM in patient with ankylosing spondylitis: case study. *J Phys Ther Sci* 2017; 29(7): 1276-1280.
- Gyurcsik Z.N., András A., Bodnár N. et al. Improvement in pain intensity, spine stiffness, and mobility during a controlled individualized physiotherapy program in ankylosing spondylitis. *Rheumatol Int* 2012; 32(12): 3931-3936.
- Baglan-Yentur S., Mete O., Tuna Z. et al. The effects of the Mulligan concept in ankylosing spondylitis: a report of two cases. *Int J Ther Rehabil* 2019; 26(5):1-10.
- Tricás-Moreno J.M., Lucha-López M.O., Lucha-López A.C. et al. Optimizing physical therapy for ankylosing spondylitis: a case study in a young football player. *J Phys Ther Sci* 2016; 28(4): 1392-1397.
- Widberg K., Karimi H., Hafström I. Self- and manual mobilization improves spine mobility in men with ankylosing spondylitis--a randomized study. *Clin Rehabil* 2009; 23(7): 599-608.
- Lange U., Sperling M., Richter K. et al. The effects of manual mobilization on the mobility of the thoracic spine in patients with ankylosing spondylitis. *J Musculoskelet Disord Treat* 2016; 2: 011.
- Dembowski Ł. The use of modern methods of physiotherapy in ankylosing spondylitis. *J Edu Health Sport* 2015; 5(8): 145-158.
- Silva E.M., Andrade S.C., Vilar M.J. Evaluation of the effects of global postural reeducation in patients with ankylosing spondylitis. *Rheumatol Int* 2012; 32(7): 2155-2163.
- Will R., Kennedy G., Elswood J. et al. Ankylosing spondylitis and the shoulder: commonly involved but infrequently disabling. *J Rheumatol* 2000; 27(1): 177-182.
- Emery R.J., Ho E.K., Leong J.C. The shoulder girdle in ankylosing spondylitis. *J Bone Joint Surg Am* 1991; 73(10): 1526-1531.
- Barrett E., O'Keefe M., O'Sullivan K. et al. Is thoracic spine posture associated with shoulder pain, range of motion and function? A systematic review. *Man Ther* 2016; 26: 38-46.
- Crosbie J., Kilbreath S.L., Hollmann L., York S. Scapulohumeral rhythm and associated spinal motion. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2008; 23(2): 184-192.
- Otoshi K., Takegami M., Sekiguchi M. et al. Association between kyphosis and subacromial impingement syndrome: LOHAS study. *J Shoulder Elbow Surg* 2014; 23(12): e300-e307.
- Mete O., Oskay D., Tufan A. The relationships between thoracic region involvement and functions of upper extremity, scapular kinematics in patients with ankylosing spondylitis: pilot study. *Ann Rheum Dis* 2017; 76(suppl. 2): 1302.
- Barrett E., O'Keefe M., O'Sullivan K. et al. Is thoracic spine posture associated with shoulder pain, range of motion and function? A systematic review. *Man Ther* 2016; 26: 38-46.
- Drăgoi R.G., Amarica E., Drăgoi M. et al. Inspiratory muscle training improves aerobic capacity and pulmonary function in patients with ankylosing spondylitis: a randomized controlled study. *Clin Rehabil* 2016; 30(4): 340-346.
- Koçyiğit H., Gürkan A., Özbaş Günay M. et al. The effect of breathing and posture exercise on the clinical, functional status and disease related quality of life in patients with ankylosing spondylitis. *Med Sci* 2012; 1: 103-117.
- Basakci Calik B., Pekesen Kurtca M., Gur Kabul E. et al. Investigation of the effectiveness of aerobic exercise training in individuals with ankylosing spondylitis: Randomized controlled study. *Mod Rheumatol* 2021; 31(2): 442-450.
- So M.W., Heo H.M., Koo B.S. et al. Efficacy of incentive spirometer exercise on pulmonary functions of patients with ankylosing spondylitis stabilized by tumor necrosis factor inhibitor therapy. *J Rheumatol* 2012; 39(9): 1854-1858.
- Durmuş D., Alaylı G., Uzun O. et al. Effects of two exercise interventions on pulmonary functions in the patients with ankylosing spondylitis. *Joint Bone Spine* 2009; 76(2): 150-155. doi: 10.1016/j.jbspin.2008.06.013.
- Gonzalez-Medina G., Perez-Cabezas V., Marin-Paz A.J. et al. Effectiveness of global postural reeducation in ankylosing spondylitis: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Med* 2020; 9(9): 2696.
- Fernández-de-Las-Peñas C., Alonso-Blanco C., Alguacil-Diego I.M., Miangolarra-Pag JC. One-year follow-up of two exercise interventions for the management of patients with ankylosing spondylitis: a randomized controlled trial. *Am J Phys Med Rehabil* 2006; 85(7): 559-567.

Address for correspondence

Daniel Szweczyk
Department of Rehabilitation, National Institute of Geriatrics, Rheumatology and Rehabilitation, Spartańska 1, 02-637 Warsaw, Poland
e-mail address: daniel.szweczyk@spartanska.pl