

**mgr inż. Anna Błaszczyk**

Rozprawa doktorska

**Biomechaniczna ocena stanowiska pracy w kontekście zmian  
przebieżeniowych u pracowników przemysłu motoryzacyjnego**



**Akademia Wychowania Fizycznego**  
*im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu*

W formie cyklu artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych

Promotor:

prof. AWF dr hab. Małgorzata B. Ogurkowska

**Anna Błaszczyk MSc**

Doctoral dissertation

**Biomechanical assessment of the workplace in the context of  
overload changes in automotive industry employees**



**Akademia Wychowania Fizycznego**  
*im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu*

In the form of series of articles published in scientific journals

Supervisor:

prof. AWF dr hab. Małgorzata B. Ogurkowska

*Pragnę serdecznie podziękować Rodzicom i Siostrze  
za bezgraniczne wsparcie oraz pomoc, którą udzielali mi  
w chwilach zwątpienia oraz za wiarę w moje możliwości.*

*Dziękuję Mężowi i Synkowi za motywację do działania oraz miłość i zrozumienie.*

*Szczególnie dziękuję Pani Profesor Małgorzacie Ogurkowskiej  
za wsparcie merytoryczne i nieustającą zachętę do pogłębiania wiedzy,  
a także za okazaną cierpliwość, życzliwość  
i wsparcie podczas mojej drogi naukowej jak i w życiu prywatnym.*

---

---

## Spis Treści

### I. Autoreferat w języku polskim

1. Wstęp
2. Cel badań
3. Materiał i metody badawcze
4. Wyniki
5. Wnioski

### II. Piśmiennictwo

### III. Streszczenie/Abstract

### IV. Aktywność naukowa i zawodowa Doktorantki

### V. Załączniki

### **Objaśnienia skrótów stosowanych w tekście:**

MSD – zaburzenia mięśniowo – szkieletowe, ang. musculoskeletal disorders

LBP – ból odcinka lędźwiowego kręgosłupa, ang. lower back pain

WRNSP – dolegliwości bólowe szyi i barków związane z pracą, ang. work-related neck-shoulder pain

CT – tomografia komputerowa, ang. computed tomography

SEMG – elektromiografia powierzchniowa, ang. surface electromyography

SD – odchylenie standardowe, ang. standard deviation

ES – prostownik grzbietu, ang. erector spinae

LD – najszerszy grzbietu, ang. latissimus dorsi

LT – czworoboczny część zstępująca, ang. lower trapezius

MD – naramienny część środkowa, ang. middle deltoideus

PM – piersiowy większy, ang. pectoralis major

MVC – skurcz maksymalny, ang. maximum voluntary contraction

ICC – współczynnik korelacji wewnątrzklasowej, ang. intraclass correlation coefficient

## I. Autoreferat w języku polskim

Rozprawę doktorską oparto o cykl publikacji pod wspólnym tytułem: “Biomechaniczna ocena stanowiska pracy w kontekście zmian przeciążeniowych u pracowników przemysłu motoryzacyjnego”. W skład dysertacji wchodzi dwa artykuły opublikowane w czasopismach o zasięgu międzynarodowym i przygotowane na podstawie wyników badań dofinansowanych z dotacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego - „Rozwój Młodych Pracowników Nauki”.

1. Błaszczyk, A., Zygmańska-Jablonska, M., Wegner-Czerniak, K., Ogurkowska, M.B., 2020. Evaluating progressive overload changes of the musculoskeletal system in automobile industry workers. Polish Journal of Environmental Studies, 29(4), <https://doi.org/10.15244/pjoes/111883>

Impact Factor - 1,66, punktacja MEiN - 40

2. Błaszczyk, A., Ogurkowska, M.B., 2022. The use of electromyography and kinematic measurements of the lumbar spine during ergonomic intervention among workers of the production line of a foundry. PeerJ 10: e13072, <https://doi.org/10.7717/peerj.13072>

Impact Factor – 2,98, punktacja MEiN – 100

**Łącznie IF – 4,64, punktacja MEiN – 140 pkt, cytowania – 4**

*Prace opublikowane poza cyklem:*

Ogurkowska Małgorzata Barbara, **Błaszczyk Anna** *Distribution of Young's modulus at various sampling points in a human lumbar spine vertebral body*. The Spine Journal, 2020; 20(11):1861-1875, <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2020.06.013>

Impact Factor - 4,166, punktacja MEiN - 140

Kabaciński Jarosław, Fryzowicz Anna, **Błaszczyk Anna**, Murawa Michał, Gorwa Joanna, Ogurkowska Małgorzata Barbara *Comparison of isokinetic knee torque and bioelectrical activity for hamstrings, quadriceps and erector spinae muscles in elite rowers*. Sports Biomechanics, 2020, <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1726996>

Impact Factor - 2,832, punktacja MEiN - 70

Ogurkowska Małgorzata, **Błaszczyk Anna**, *Variation in human vertebral body strength for vertebral body samples from different locations in segments L1-L5* Clinical Biomechanics, 2018, 60, 66-75, DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2018.10.008

Impact Factor - 1,977, punktacja MEiN - 30

Zygmańska Magdalena, **Błaszczyk Anna**, Wegner Katarzyna, Samborski Włodzimierz, Ogurkowska Małgorzata, *Assessment of overload changes in the lumbar spine of employees with sedentary nature of work*; Fizjoterapia Polska 2018; 18(1); 62-73

punktacja MEiN - 10

Wegner Katarzyna, **Błaszczyk Anna**, Zygmąńska Magdalena, Ogurkowska Małgorzata, *Ocena zmian przeciążeniowych kręgosłupa u pracowników przemysłu motoryzacyjnego. Zeszyty Naukowe Małopolskiej Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Tarnowie* 2017, 23(3); 93-103

punktacja MEiN - 9

**Łącznie IF – 8,975, punktacja MEiN – 259 pkt (w tym 49 pkt wg starej punktacji + 210 pkt wg nowej punktacji MEiN).**

*Całkowity dorobek naukowy:*

**IF – 13,65, punktacja MEiN – 399 pkt (w tym 89 pkt wg starej punktacji + 210 pkt wg nowej punktacji MEiN).**

## 1. Wprowadzenie

Zaburzenia układu mięśniowo – szkieletowego (MSD) stanowią najczęściej występujące schorzenie w Europie (EU-OSHA). Czynniki ryzyka, takie jak wykonywanie powtarzalnych ruchów, wysokie normy produkcyjne, przenoszenie ciężkich obiektów, ruchy zgięcia i rotacji kręgosłupa są ogólnie uważane za główną przyczynę MSD wśród pracowników fizycznych (Andersen i wsp. 2012, 2016, 2017, Sterud i wsp. 2013, Matsudaira i wsp. 2012). Pracownicy fizyczni wykonujący powtarzalne czynności przy użyciu kończyn górnych często nadmiernie obciążają odcinek lędźwiowy kręgosłupa, co naraża ich na ryzyko wystąpienia zaburzeń mięśniowo-szkieletowych i urazów (Jakobsen i wsp. 2018). Dolegliwości bólowe dolnej części kręgosłupa – lower back pain (LBP) są najczęściej zgłaszanym problemem pracowników fizycznych przemysłu motoryzacyjnego (Błaszczyk i wsp. 2020). Osoby z LBP wykazują asymetrie lub spadki sygnału elektromiograficznego (sEMG) w porównaniu z osobami zdrowymi (Reger i wsp. 2006). Zmniejszenie się różnic w aktywności elektrycznej mięśni pomiędzy prawą a lewą stroną, może skutkować więc zmniejszaniem się dolegliwości bólowych dolnego odcinka kręgosłupa. Związane z pracą dolegliwości mięśniowo – szkieletowe (work - related MSD) niosą za sobą również bezpośrednie, negatywne konsekwencje ekonomiczne takie jak występowanie czasowej niezdolności do pracy czy przejście na wcześniejszą emeryturę (Anderson i wsp. 2011, Bevan i wsp. 2009).

Eliminacja szkodliwych czynników zapobiega występowaniu schorzeń układu mięśniowo-szkieletowego i pozytywnie wpływa na zdrowie pracowników (McDonald i wsp. 2013). Można ją osiągnąć dzięki interwencjom ergonomicznym (ergonomic interventions), które mają pozytywny wpływ na zmniejszenie: dolegliwości mięśniowo-szkieletowych, liczby urazów i roszczeń o odszkodowanie dla pracowników oraz zmniejszenie liczby dni absencji chorobowej (Rivils i wsp. 2008). Interwencje ergonomiczne są definiowane jako czynności, ukierunkowane na poprawę wzorca wykonywanego ruchu, zmianę budowy stanowiska pracy lub modyfikację systemu pracy z perspektywy ergonomicznej (Rodríguez i wsp. 2018). Kompleksowe podejście do interwencji w zakresie ergonomii jest najlepszym rozwiązaniem, aby zmniejszyć częstość występowania MSD związanych z pracą (Dennerlein 2017). Odpowiednio prowadzona interwencja ergonomiczna zmniejsza absencję chorobową z powodu dolegliwości bólowych kończyn górnych (Shiri i wsp. 2011). Tego typu badania często przeprowadza się na pracownikach biurowych – ze względu na ich statyczną pozycję pracy (Bazazan 2019, Konarska i wsp. 2005). Natomiast, to pracownicy fizyczni linii



produkcyjnych stanowią dużą grupę osób obciążonych czynnikami ryzyka wystąpienia work - related MSD. Mimo postępującej robotyzacji linii produkcyjnych, w fabrykach samochodowych zatrudnionych jest wielu pracowników fizycznych. Warto pamiętać, iż w przemyśle motoryzacyjnym, konieczna jest przebudowa linii produkcyjnej każdorazowo, przed procesem wytwarzania nowych modeli samochodów. Wprowadzane modernizacje dają możliwość poprawy stanowiska, nie tylko pod względem wydajności produkcji ale również bezpieczeństwa i ergonomii pracy zatrudnionych osób. W dzisiejszych czasach w skład zespołów konstrukcyjnych wchodzi nie tylko inżynierowie. Lekarze, fizjoterapeuci i specjaliści ergonomii włączają się w projektowanie stanowisk oraz czuwają nad bezpieczeństwem i zdrowiem pracowników (Stevenson 2014). Uwzględnienie czynników ryzyka i szczegółowa ocena wszystkich stanowisk pracy są konieczne w każdym nowoczesnym przedsiębiorstwie.

Obciążenia biomechaniczne występujące przy podnoszeniu i przenoszeniu ciężarów zależą od indywidualnych nawyków pracownika, a w szczególności od stylu podnoszenia (Faber i wsp. 2011, Hwang i wsp. 2009). Pracownicy wykonują określone zadanie ruchowe w tych samych warunkach na danym stanowisku pracy a pozycja ciała stanowi czynnik w przewidywaniu wystąpienia bólu. Jest to czynnik indywidualny, który zależy od znajomości zasad ergonomii i podstaw biomechaniki, które przekładają się na prawidłową pozycję ciała przy wykonywaniu danej czynności. Obciążenia związane z przenoszeniem ciężaru przekazywane są poprzez kończynę górną i obręcz barkową na kręgosłup. Zjawisko kompensacji występuje przy każdym ruchu pracownika. Dodatkowo, potęgowane jest poprzez nieodpowiednie pozycje i nieprzestrzeganie zasad ergonomii. Analizując patobiomechanizm zmian przeciążeniowych, należy zwrócić uwagę na obciążenia występujące w kończynie górnej podczas pracy na linii produkcyjnej w przemyśle motoryzacyjnym. Podczas przenoszenia ciężkiego elementu moment siły oporu (wynikający z trzymanego obiektu) oddziałujący na staw ramienny jest równy iloczynowi wartości siły oporu i jej ramienia. Ramię siły oporu, jest to najkrótsza odległość między kierunkiem działania siły a osią dźwigni (Będziński 1997). Ciężar trzymanego w ręku przedmiotu jest stały, więc wielkość rozwijanego momentu siły zależy głównie od długości ramienia. W przypadku, gdy pracownik wykorzystuje nieprawidłowe schematy ruchowe powoduje bardzo duże i szkodliwe obciążenie oddziałujące bezpośrednio na staw ramienny.

Przenoszenie jakiegokolwiek ciężaru negatywnie wpływa na siły powstające w krążkach międzykręgowych. Ergonomiczne zasady podnoszenia przedmiotów o dużej masie rzadko kiedy stosowane są w zakładach pracy. Poprzez przybliżenie trzymanego ładunku do

ciała uzyskuje się znacznie mniejsze wartości momentów sił obciążających krążek międzykręgowy (Kraemer 2013). Należy pamiętać, że krążek międzykręgowy obciążony jest ciężarem przedmiotu, ciężarem górnej części tułowia i kończyn górnych oraz głowy, a także siłami tylnych mięśni kręgosłupa. W odniesieniu do osi obrotu bardzo ważnym czynnikiem jest wartość ramion wymienionych sił. Dodatkowo, momenty zgięcia i wyprostu występujące na poziomie kręgosłupa L5-S1 są znacznie mniejsze przy technice podnoszenia z wykorzystaniem kończyn dolnych niż przy technice „dowolnej” (Buseck i wsp. 1988). Należy pamiętać, iż wspomniane momenty zależą od ramienia siły, czyli odległości, na której utrzymywany jest przenoszony ładunek (Panjabi 1989). Opisany wyżej patobiomechanizm dotyczy w szczególności pracowników przenoszących ciężkie obiekty. Jego negatywne oddziaływanie na układ mięśniowo – kostny jest potęgowane faktem, iż pracownicy przemysłu motoryzacyjnego wykonują powtarzalny ruch (przeniesienie ciężkiego obiektu) kilkaset razy dziennie.

Interwencja ergonomiczna może zawierać instruktaż fizjoterapeutyczny, wskazówki dotyczące używania narzędzi czy zmianę konstrukcji stanowiska pracy (Rivilis i wsp. 2008, Shiri i wsp. 2011). Określenia: „trzymanie noszonego przedmiotu jak najbliżej ciała, zachowanie prawidłowej krzywizny kręgosłupa podczas zginania, angażowanie kończyn dolnych podczas zginania” użyte podczas interwencji ergonomicznej zostały zdefiniowane jako zrozumiałe dla uczestników badania i przynoszące zamierzony efekt (Overton i wsp. 2016, Abdoli -Eramaki i wsp. 2019). Zastosowanie instruktażu ergonomicznego ma na celu naukę prawidłowego – ergonomicznego wykonywania zadań ruchowych podczas pracy a w efekcie zapobieganie pojawieniu się dolegliwości bólowych. Instruktaż będzie pomocny w reedukacji prawidłowych wzorców ruchowych oraz w profilaktyce powstawania zaburzeń mięśniowo – szkieletowych.

## **2. Cel badań**

**Celem głównym pracy** jest biomechaniczna ocena stanowiska pracy w kontekście zmian przeciążeniowych występujących u osób zatrudnionych na linii produkcyjnej przemysłu motoryzacyjnego.

### **Cele szczegółowe**

1. Wskazanie najczęściej występujących przeciążeń narządu ruchu u osób pracujących na stanowisku odlewnik/rdzeniarsz, ich lokalizacji i częstotliwości (publikacja 1).
2. Określenie związków pomiędzy dolegliwościami bólowymi odcinka lędźwiowego a dolegliwościami odcinka szyjnego kręgosłupa w grupie pracowników fizycznych przemysłu motoryzacyjnego (publikacja 1).
3. Analiza związków pomiędzy występowaniem dolegliwości bólowych kręgosłupa a bólem kolejnych stawów kończyny górnej (publikacja 1).
4. Badanie zakresów ruchu poszczególnych segmentów ruchowych odcinka lędźwiowego kręgosłupa, podczas wykonywania pracy przez mężczyzn na stanowisku linii produkcyjnej odlewni (publikacja 2).
5. Pomiar elektrycznej aktywności mięśni kończyn górnych i tułowia oraz analiza pod kątem symetrii pracy mięśni w grupie pracowników linii produkcyjnej przemysłu motoryzacyjnego (publikacja 2).
6. Określenie wpływu przeprowadzania instruktażu ergonomicznego, prowadzonego przez fizjoterapeutę, na zakres ruchu segmentów kręgosłupa lędźwiowego w grupie pracowników linii produkcyjnej odlewni (publikacja 2).
7. Określenie wpływu przeprowadzania instruktażu ergonomicznego, prowadzonego przez fizjoterapeutę, na symetrię pracy mięśni tułowia i kończyn górnych podczas wykonywania pracy na stanowisku linii produkcyjnej odlewni (publikacja 2).

Celem aplikacyjnym pracy, jest ustalenie, czy przeprowadzanie instruktażu ergonomicznego bezpośrednio na stanowiskach linii produkcyjnej odlewni, wpłynie na poprawę przyjmowanych przez pracowników patogennych pozycji ciała. Dokładniej, czy będą oni wykonywać pracę z zachowaniem prawidłowych krzywizn kręgosłupa oraz aktywując mięśnie w sposób symetryczny. Ma to na celu zapobieganie powstawaniu zmian przeciążeniowych oraz dolegliwości bólowych układu mięśniowo szkieletowego.

## **Hipotezy badawcze**

1. Pracownicy odlewni w przemyśle motoryzacyjnym w sposób szczególny obciążają odcinek lędźwiowy kręgosłupa, co ma związek z biomechaniką pracy narządu ruchu a dokładniej z przenoszeniem bardzo dużych obciążeń na kręgosłup poprzez kończyny górne i obręcze barkowe (publikacja 1).
2. Długotrwałe i jednostronne obciążenia, stanowią podstawę do twierdzenia o występowaniu strukturalnych i funkcjonalnych zmian przeciążeniowych w odcinku lędźwiowym kręgosłupa u pracowników fizycznych przemysłu motoryzacyjnego (publikacja 1).
3. Na skutek występowania mechanizmu kompensacji, należy spodziewać się, iż dolegliwości bólowe w obrębie odcinka lędźwiowego kręgosłupa wykazują związek z zaburzeniami segmentów leżących wyżej oraz z przenoszeniem obciążeń przez stawy kończyn górnych wśród badanej grupie mężczyzn (publikacja 1).
4. Przypuszcza się, iż w związku z charakterem wykonywanych przez pracowników czynności na stanowisku roboczym występuje asymetria w aktywności bioelektrycznej mięśni tułowia i kończyn górnych (publikacja 2).
5. Wykonywanie powtarzalnych czynności w nieprawidłowym wzorcu ruchowym podczas codziennej pracy może potęgować powstawanie dysfunkcji mięśniowo – szkieletowych narządu ruchu (publikacja 2).
6. Analiza kinematyki ruchu kręgosłupa podczas wykonywanej pracy wskaże błędy w przyjmowanych pozycjach ciała oraz pracę w nieprawidłowych zakresach kątowych na stanowisku linii produkcyjnej przemysłu motoryzacyjnego (publikacja 2).
7. Przewiduje się, iż po przeprowadzeniu instruktażu ergonomicznego zmniejszy się kątowny zakres ruchu w odcinku lędźwiowym kręgosłupa pracowników linii produkcyjnej odlewni (publikacja 2).
8. Różnica w aktywności elektrycznej mięśni pomiędzy prawą a lewą stroną ciała zmniejszy się po przeprowadzeniu przez fizjoterapeutę instruktażu ergonomicznego wśród pracowników linii produkcyjnej odlewni (publikacja 2).

### 3. Materiał i metody badawcze

#### 3.1 Materiał badawczy

Na przeprowadzenie badań uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu (nr 561/18). Wszyscy uczestnicy zostali poinformowani o możliwości dobrowolnego przystąpienia jak i rezygnacji z uczestnictwa w procedurze badawczej oraz podpisali pisemną zgodę na udział.

##### *Publikacja 1*

*Błaszczyk, A., Zygmanska-Jablonska, M., Wegner-Czerniak, K., Ogurkowska, M.B., 2020. Evaluating progressive overload changes of the musculoskeletal system in automobile industry workers. Polish Journal of Environmental Studies, 29(4), <https://doi.org/10.15244/pjoes/111883>*

Badania przeprowadzono wśród 111 pracowników przemysłu motoryzacyjnego. Na podstawie biomechanicznej oceny materiałów filmowych (nagranych w zakładzie produkującym pojazdy samochodowe), do badań zakwalifikowano mężczyzn, którzy w związku z pracą na danym stanowisku są najbardziej narażeni na wystąpienie u nich zmian przeciążeniowych narządu ruchu. Biomechaniczna analiza materiałów filmowych pozwoliła na wyselekcjonowanie grupy badawczej złożonej z mężczyzn - montażystów i odlewników w wieku od 20 do 65 lat. Średnia wieku badanych wynosiła 40 lat, a średni staż pracy (w branży motoryzacyjnej) wynosił 8 lat.

##### *Publikacja 2*

*Błaszczyk, A., Ogurkowska, M.B., 2022. The use of electromyography and kinematic measurements of the lumbar spine during ergonomic intervention among workers of the production line of a foundry. PeerJ 10: e13072, <https://doi.org/10.7717/peerj.13072>*

Grupę badawczą stanowiło 12 mężczyzn (średni wiek  $36,8 \pm 8,3$ SD) będących pracownikami fizycznymi dwóch stanowisk linii produkcyjnej przemysłu motoryzacyjnego. Staż pracy każdego badanego na danym stanowisku wynosił minimum 5 lat. Wybrane miejsca pracy wymagały od pracowników wykonywania powtarzalnych sekwencji ruchów (około 350/dobę). Podczas pracy, pracownicy przenoszą ciężkie przedmioty (10–12 kg), obracają i zginają tułów w płaszczyźnie strzałkowej trzymając jednocześnie ładunek w kończynach

górnym, a także przesuwają go za pomocą specjalnego uchwytu. W warunkach laboratoryjnych odtworzono dwa wybrane stanowiska pracy.

### 3.2 Metody badawcze

Pierwszym etapem zastosowanego w pracy procesu badawczego była analiza materiałów fotograficznych oraz filmowych. Dane w postaci filmów oraz zdjęć zostały zgromadzone przez pracowników Zakładu Biomechaniki Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu. Zebrany materiał ukazuje pracowników fizycznych różnych obszarów przemysłu motoryzacyjnego. Dokumentacja obejmuje obraz zarówno całego stanowiska pracy jak i czynności wykonywanych przez danego pracownika. Podjęta analiza miała na celu wyłonienie grupy mężczyzn najbardziej narażonych na wystąpienie u nich zmian przeciążeniowych narządu ruchu. Powyższa analiza obejmowała ocenę: postawy ciała, liczby wykonywanych powtarzających się ruchów, rodzaju przenoszonych ładunków oraz charakteru pracy zawodowej. Zwrócono również uwagę na konstrukcję miejsca pracy oraz eksploatowane urządzenia i narzędzia.

#### *Publikacja 1*

*Błaszczyk, A., Zygmanska-Jablonska, M., Wegner-Czerniak, K., Ogurkowska, M.B., 2020. Evaluating progressive overload changes of the musculoskeletal system in automobile industry workers. Polish Journal of Environmental Studies, 29(4), <https://doi.org/10.15244/pjoes/111883>*

### **Badania ankietowe w miejscu pracy respondentów**

#### *Autorska ankieta*

W pracy zastosowano autorską ankietę, która składała się z pytań wielokrotnego wyboru, pytań zamkniętych oraz zamkniętych z wyskalowaną odpowiedzią. Pytania otwarte stanowiły uzupełnienie wcześniejszych odpowiedzi oraz dawały możliwość zamieszczenia własnych uwag lub komentarzy. Obszerna ankieta została stworzona przez autorki opracowania specjalnie na potrzeby badanej grupy mężczyzn. Zebrano informacje na temat lokalizacji, rodzaju i natężenia bólu - skala VAS<sup>1</sup>. Wskazany ból był dokładnie opisywany i klasyfikowany ze względu na

---

<sup>1</sup>Skala VAS (ang. Visual Analogue Scale)

Jest to wzrokowo-analogowa skala stosowana do oceny poziomu natężenia/intensywności dolegliwości bólowych. Badani określają w sposób subiektywny natężenie bólu zaznaczając je na skali wyrysowanej na karcie badania. Skala dodatkowo zawiera numerację od 1 do 10. (McCormack i wsp. 1988)

rodzaj oraz częstotliwość występowania. Mężczyźni, określali również własny staż pracy, rodzaj pracy i liczbę wykonywanych powtarzalnych ruchów oraz stopień znajomości zasad ergonomii. Pracownicy informowali o podejmowanych aktywnościach fizycznych w pracy oraz w czasie wolnym. Mężczyźni sygnalizowali także o przebytych urazach oraz rehabilitacji. Wszystkie badania przeprowadzone zostały osobiście przez autorkę i odbywały się w zakładzie pracy badanych mężczyzn. Pozwoliło to na dodatkową rozmowę z pracownikami oraz zapoznanie się ze stanowiskami pracy, które wcześniej analizowano na podstawie materiałów filmowych i fotograficznych.

### *Publikacja 2*

*Błaszczyk, A., Ogurkowska, M.B., 2022. The use of electromyography and kinematic measurements of the lumbar spine during ergonomic intervention among workers of the production line of a foundry. PeerJ 10: e13072, <https://doi.org/10.7717/peerj.13072>*

Pracownicy deklarujący odczuwanie dolegliwości bólowych kręgosłupa lędźwiowego na poziomie powyżej 5 punktów w skali VAS oraz, u których istniało podejrzenie występowania zmian patologicznych w tym obszarze, zostali skierowani przez lekarza ortopedę na dokładną diagnostykę, poprzez przeprowadzenie badania tomograficznego w Pracowni Diagnostyki Obrazowej TOMMA, przy ulicy Starołęckiej 42 w Poznaniu. Opisy zdjęć CT odcinka L1-S1 wykonał lekarz radiolog.

### **Charakterystyka stanowisk pomiarowych**

Wybór konkretnego stanowiska do oceny, wymagał wykonywania na nim powtarzalnych sekwencji ruchowych podczas codziennej pracy (ok. 350/dzień). Pracownicy przenoszą ciężkie obiekty (10-12kg), rotują i zginają kręgosłup trzymając przy tym ładunek w kończynach górnych a także przesuwają obiekt przy użyciu specjalnego uchwytu. Kształt i wygląd dwóch konkretnych stanowisk pracy został odtworzony w warunkach laboratoryjnych (Figure 1 – publikacja 2).

Należy podkreślić, że przeprowadzenie badań bezpośrednio w zakładzie przemysłowym, na linii produkcyjnej nie było możliwe ze względu na występujące zakłócenia przesyłania sygnału przez aparaturę pomiarową.

*Praca na pierwszym stanowisku* polegała na przeniesieniu oryginalnego odlewu ( $m=10\text{kg}$ ) ze stolika podawczego do skrzyni. Składały się na nią trzy elementy, a mianowicie: podniesienie odlewu ze stolika podawczego o wysokości  $h=0,8\text{m}$ , przeniesienie go w kierunku skrzyni a następnie odłożenie do skrzyni, której dno znajdowało się na wysokości  $h=0,5\text{m}$  nad podłogą.

Podczas wykonywania *pracy na drugim stanowisku* mężczyźni przesuwali obciążnik – imitujący urządzenie podawcze na odcinku 3m. Moment siły, jaki należy przyłożyć, aby przesunąć element został zmierzony na oryginalnym stanowisku pracy i odtworzony w warunkach laboratoryjnych. Uchwyt do przesuwania obciążnika znajdował się na wysokości 1,2 m.

### **Badanie elektrycznej aktywności mięśni tułowia i kończyn górnych podczas interwencji ergonomicznej wśród pracowników linii produkcyjnej odlewni**

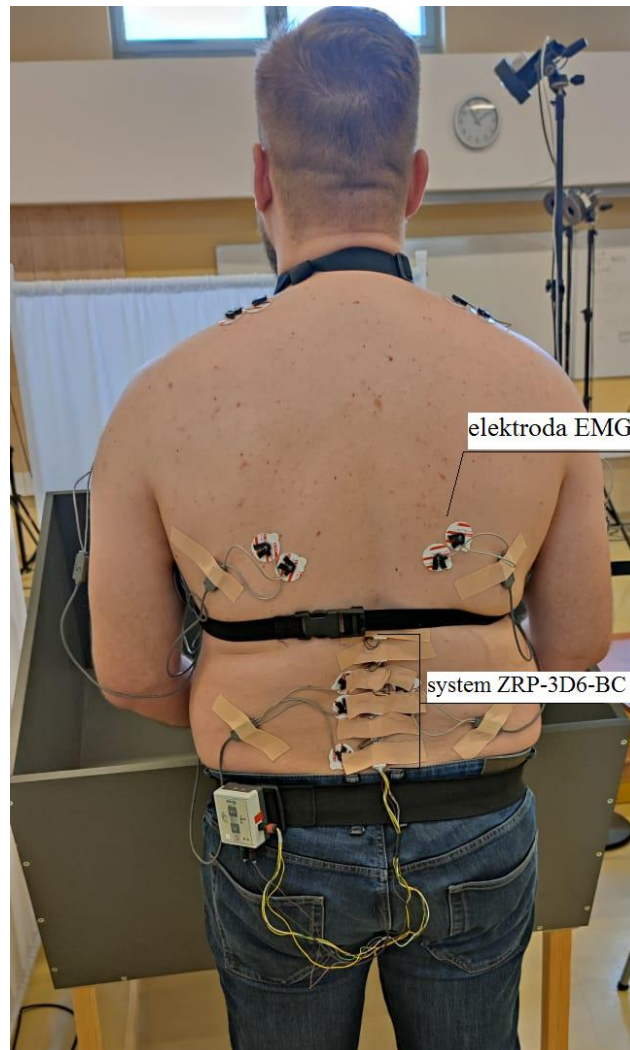
Badania elektromiograficzne przeprowadzono w laboratorium biomechaniczno – kinezyologicznym Zakładu Biomechaniki AWF Poznań. Sygnał powierzchniowego EMG rejestrowano za pomocą urządzenia Telemyo 2400T G2 (Noraxon, USA). Elektrody (Ag/AgCl SORIMEX, Polska, średnica 1 cm) umieszczano (Ryc.1) na wcześniej przygotowanej skórze (oczyszczanie, golenie, odtłuszczenie alkoholem) zgodnie z wytycznymi SENIAM (Hermens i wsp. 2000; Kasman i wsp. 1998, Cram i wsp. 1998).

Badania pilotażowe wyłoniły mięśnie, które poddano testowaniu. Rejestrowano sygnały z 5 mięśni: prostownik grzbietu – ES, najszerszy grzbietu – LD, czworoboczny część zstępująca – LT, naramienny część środkowa – MD, piersiowy większy – PM. Sygnał EMG próbkowano przy 1000 Hz, a następnie filtrowano (szerokość pasma: 10-500 Hz) (Merletti 1999). Elektroda referencyjna znajdowała się na kolcu biodrowym tylnym górnym. Prawidłowe umiejscowienie zostało potwierdzone ręcznymi testami mięśni i wizualną kontrolą surowego sygnału.

Do przetwarzania sygnału wykorzystano oprogramowanie MyoResearch XP Master Edition (Noraxon, USA). Z surowego sygnału usunięto artefakty, a następnie poddano go prostowaniu pełnej fali i wygładzeniu przy użyciu algorytmu średniej kwadratowej (RMS) z oknem 50 ms (Clancy i wsp. 2002). Kolejno wprowadzono normalizację sygnału do maksymalnego dobrowolnego skurczu (%MVC), do analiz użyto najwyższą uśrednioną



wartość sygnału EMG ze środkowej 1 sekundy. Izometryczne MVC dla wszystkich mięśni wyznaczano w warunkach statycznych (Burden i wsp. 2010, 2003. DeLuca 2003, Andreia i wsp. 2012). Badany trzykrotnie naciskał z maksymalną siłą odpowiednią częścią ciała na wałek oporowy, utrzymując skurcz maksymalny przez 3 sekundy.



Ryc. 1 Położenie elektrod na skórze badanego pracownika, zgodnie z wytycznymi SENIAM oraz systemu ZRP-3D6-BC do badania kinematyki ruchu kręgosłupa L1-S1

## **Badanie kinematyki ruchu odcinka lędźwiowego kręgosłupa podczas interwencji ergonomicznej wśród pracowników linii produkcyjnej odlewni**

Do pomiaru kinematyki ruchu kręgosłupa wykorzystano system ZRP-3D6-BC. Badanie przeprowadzone w laboratorium biomechaniczno – kinezyologicznym Zakładu biomechaniki AWF Poznań polegało na pomiarze prędkości kątowej oraz kątów zakreślanych przez poszczególne segmenty ruchowe kręgow, przy pomocy systemu trójosiowych czujników przymocowanych do wyrostków kolczystych pięciu kręgow lędźwiowych oraz kości krzyżowej (L1-S1) -(Ryc.1).

Przy pomocy oprogramowania CPG1v0 systemu, dokonano podstawowej analizy zmierzonych przebiegów trójosiowych prędkości kątowych, wyznaczając maksymalne zakresy ruchu segmentów ruchowych odcinka lędźwiowego kręgosłupa, tzn. L1/L2, L2/L3, L3/L4, L4/L5, L5/S1 w płaszczyźnie strzałkowej oraz czołowej, podczas wykonywania dwóch badanych czynności.

### **Charakterystyka eksperymentu badawczego**

Na początku realizacji eksperymentu, każdy z pracowników otrzymał dowolną ilość czasu na zapoznanie się ze stanowiskiem badawczym. Następnie na stanowisku nr 1 (Figure 1A – publikacja 2) proszony był o trzykrotne przeniesienie odlewu ze stolika do skrzyni, własną techniką, którą wykonuje tę czynność każdego dnia pracy. Każdy pracownik przechodził indywidualny instruktaż ergonomiczny przeprowadzany przez jednego fizjoterapeutę.

Instruktaż polegał na przekazaniu trzech informacji:

- trzymanie przenoszonego obiektu jak najbliżej ciała,
- pochylanie się z zachowaniem prawidłowych krzywizn kręgosłupa,
- wykorzystanie pracy kończyn dolnych w momencie pochylania się.

Pracownik wykonywał czynność kilkakrotnie, wprowadzając do zadania ruchowego korekty wynikające z instruktażu oraz stosując się do uwag fizjoterapeuty. W momencie, gdy instruktor ocenił, iż badany pracownik potrafi już wykonać daną czynność prawidłowo, z zachowaniem wprowadzonych zasad ergonomii, przekazywał on polecenie przeniesienia obiektu kolejno 3 razy. Dzięki rejestracji wideo, czynność przenoszenia odlewu, przy użyciu MyoResearch XP Master Edition była następnie dzielona na 3 fazy:

f1 – faza pierwsza ruchu – podniesienie odlewu;

f2 – faza druga ruchu – przeniesienie odlewu;

f3 – faza trzecia ruchu – odłożenie odlewu.

Na stanowisku nr 2 (Figure 1B – publikacja 2) pracownik proszony był o przesunięcie elementu po szynie trzykrotnie własną techniką, którą stosuje każdego dnia pracy. Kolejno przechodził instruktaż ergonomiczny polegający na komendach:

- przyjęcie odpowiedniej pozycji przed pracą, tak aby nie rotować tułowia,
- zachowanie prawidłowych krzywizn kręgosłupa podczas przesuwania elementu.

Następnie, pracownik ćwiczył kilkakrotnie nowy sposób wykonania czynności na zasymulowanym stanowisku pracy. W momencie, gdy według oceny fizjoterapeuty potrafił on wykonać ją w sposób ergonomiczny przechodzono do rejestracji trzech prób przesunięcia. Sygnał EMG oraz wartości kątowe uzyskane przy pomocy systemu ZRP-3D6-BC z trzech prób zostały uśrednione dla każdej z dwóch czynności.

### **Analiza statystyczna**

Obliczenia statystyczne przeprowadzono przy użyciu TIBCO Software Inc. (2017) Statistica (system oprogramowania do analizy danych), wersja 13.

#### *Publikacja 1:*

Badając różnicę natężenia bólu (skala VAS) odcinka szyjnego kręgosłupa między grupami wiekowymi, skorzystano z jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA, rozkład normalny potwierdzono testem Shapiro – Wilka a jednorodność wariancji testem Levene'a. Badanie różnicy siły bólu między osobami odczuwającymi dolegliwości bólowe z różną częstotliwością ich występowania przeprowadzono testem ANOVA Kruskala-Wallisa, ze względu na brak rozkładu normalnego w jednej z badanych grup wiekowych (test Shapiro – Wilka). Związek pomiędzy występowaniem bólu w odcinku lędźwiowym i szyjnym kręgosłupa oraz pomiędzy odcinkiem szyjnym kręgosłupa a kolejnymi stawami kończyny górnej badano testem chi-kwadrat Pearsona. Korelacja między intensywnością bólu odcinka lędźwiowego a intensywnością bólu odcinka szyjnego kręgosłupa oraz pomiędzy kolejnymi stawami kończyn górnych wyliczono stosując korelację porządku rang Spearmana. Poziom istotności statystycznej ustalono na  $p \leq 0,05$ .

## *Publikacja 2:*

Dla wszystkich zmiennych elektromiograficznych i kinematycznych wiarygodność trzech pomiarów obliczono za pomocą współczynnika korelacji międzyklasowej (ICC3,k) (95 % przedział ufności). Normalność rozkładu danych zweryfikowano za pomocą testu Shapiro-Wilka. Różnice w dysproporcjach kontralateralnych w aktywności mięśni (ES, LD, LT, MD, PM) w czasie (przed i po wykonaniu instrukcji ergonomicznej) oraz różnice w zakresie ruchu pomiędzy segmentami kręgosłupa (L1/L2, L2/L3, L3/L4, L4/L5, L5/S1) w czasie (przed i po wykonaniu instrukcji ergonomicznej) obliczono za pomocą wielowymiarowej analizy wariacji z powtarzanymi pomiarami (ANOVA 5x2). W przypadku istotnych statystycznie różnic pomiędzy segmentami lub mięśniami w czasie wykonywano test post-hoc Tukeya (HSD). Korelacje rang Spearmana oraz korelację rang Pearsona wykorzystano do poszukiwania korelacji między różnicą (przed a po instruktazie) sygnału EMG dla danego mięśnia a różnicą (przed a po instruktazie) zakresu ruchu w danym segmencie. Poziom istotności statystycznej ustalono na  $p \leq 0,05$ .

## **4. Wyniki oraz ich omówienie**

### *Publikacja 1*

*Błaszczyk, A., Zygmanska-Jablonska, M., Wegner-Czerniak, K., Ogurkowska, M.B., 2020. Evaluating progressive overload changes of the musculoskeletal system in automobile industry workers. Polish Journal of Environmental Studies, 29(4), <https://doi.org/10.15244/pjoes/111883>*

Na podstawie przeprowadzonych na tym etapie badań, ustalono przede wszystkim lokalizację i natężenie (intensywność) najczęściej występujących dolegliwości bólowych w obszarze narządu ruchu, wśród pracowników przemysłu motoryzacyjnego. Badani w szczególności zgłaszają ból odcinka lędźwiowego kręgosłupa (73% pracowników). Co więcej, ponad 1/3 osób odczuwa go kilka razy w tygodniu lub nawet codziennie. Kolejno, respondenci uskarżają się na odcinek szyjny kręgosłupa (37%) oraz staw barkowy (33%). Pojedyncze osoby cierpią z powodu bólu stawów biodrowych oraz stopy.

Przy użyciu skali VAS pracownicy określali natężenie bólu w chwili obecnej oraz podczas silnego epizodu bólowego. Analizując uzyskane wyniki, ponownie stwierdzono, iż największe dolegliwości sprawia odcinek L1-S1 kręgosłupa, zarówno w trakcie epizodów

bólowych jak również, w chwili obecnej. Podobne problemy z objawami bólowymi występują u badanej grupy pracowników w odcinku szyjnym kręgosłupa.

Bardzo ważną informacją, było uzyskanie danych na temat znajomości i przestrzegania zasad ergonomii pracy przez mężczyzn zatrudnionych na linii produkcyjnej w przemyśle motoryzacyjnym. Połowa badanych osób deklaruje, iż nie przestrzega lub nie zna zasad ergonomii pracy. Zwraca to uwagę na niedostateczną edukację pracowników w tym temacie. W związku z tym, ze względu na charakter wykonywanej pracy są oni narażeni na występowanie dolegliwości bólowych ze strony układu mięśniowo – szkieletowego.

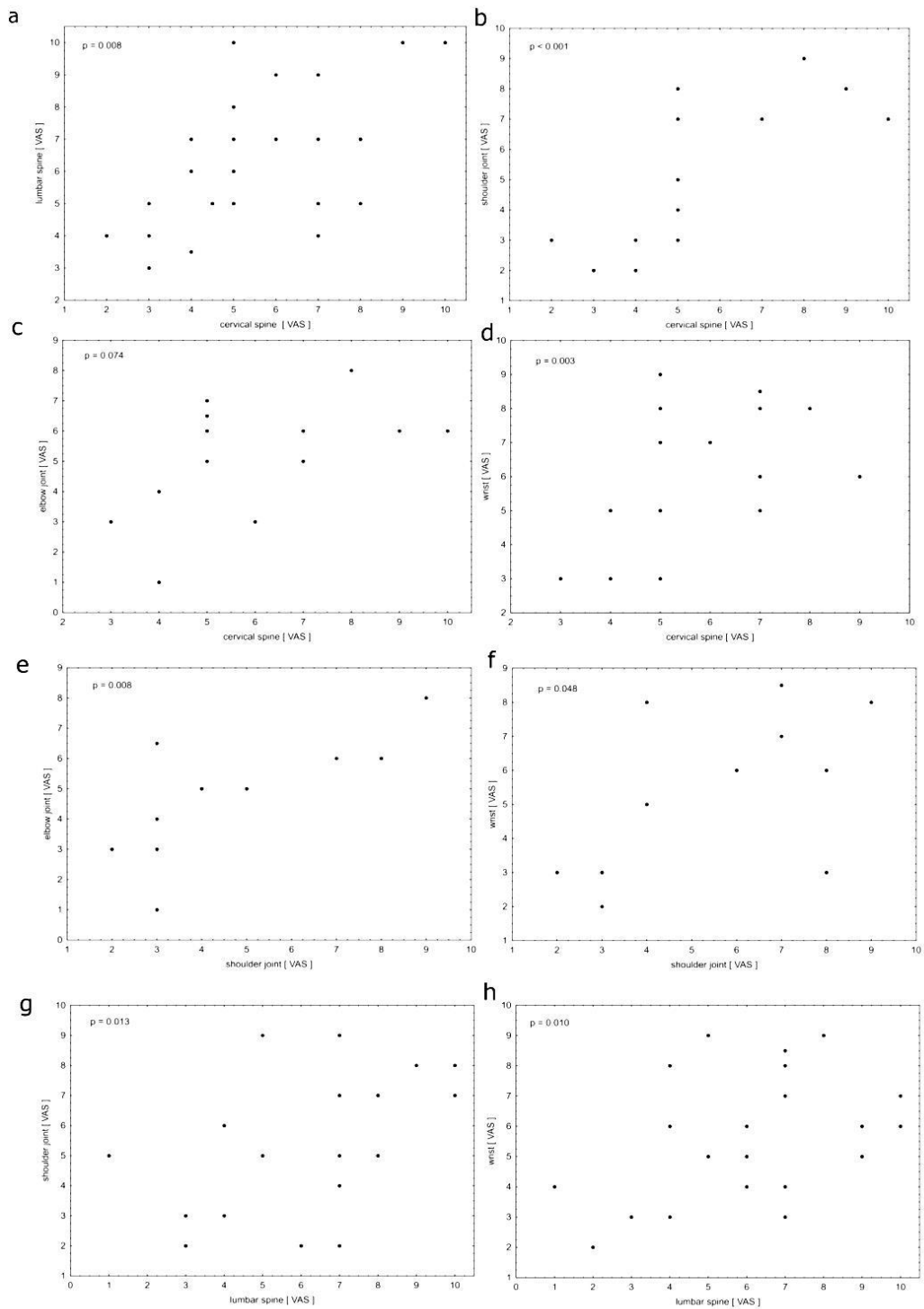
Mając na uwadze patobiomechanizm powstawania zmian przeciążeniowych, szukano również zależności pomiędzy występowaniem bólu w różnych odcinkach kręgosłupa. Niewątpliwie zmiana krzywizny, na przykład zmniejszenie się lordozy lędźwiowej wpływa patogenicznie na przebudowę kifozy piersiowej a dalej lordozy szyjnej (Chiasson i wsp. 2015). Jednak, w badanej grupie pracowników, przeprowadzona analiza nie wykazała istotnych zależności między występowaniem bólu w odcinku lędźwiowym a szyjnym kręgosłupa. Proces powstawania patologicznych zmian przeciążeniowych w odcinku szyjnym kręgosłupa powiązany jest zapewne z dolegliwościami bólowymi stawów kończyn górnych. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono (Figure 1–publikacja1), że ból odcinka szyjnego kręgosłupa występuje u 37% badanej grupy pracowników, natomiast dolegliwości bólowe stawów barkowych zgłosiło w ankietach 32% osób. Kolejno, na ból stawu łokciowego wskazuje 25% badanych a dolegliwości ze strony stawu nadgarstkowego występują u 32% pracowników. Łącznie, aż 23% badanych mężczyzn odczuwa ból odcinka szyjnego kręgosłupa wraz z bólem jednego lub więcej stawów kończyny górnej. Najczęściej bólowi odcinka szyjnego kręgosłupa towarzyszy ból stawu nadgarstkowego (18%), kolejno ból stawu łokciowego (16%) lub stawu ramiennego (16%). Ponadto należy podkreślić, iż 4% badanych mężczyzn zgłasza jednocześnie dolegliwości bólowe wszystkich stawów kończyny górnej oraz kręgosłupa.

Zastosowanie skali VAS pozwoliło na szukanie korelacji pomiędzy natężeniem bólu kręgosłupa i stawów kończyn górnych (Ryc. 2). Znając mechanizm przenoszenia obciążeń spodziewano się, iż zgłaszanie dolegliwości bólowych kręgosłupa będzie wykazywało związek z siłą bólu stawów kończyn górnych. Analiza natężenia bólu (skala VAS) odcinka szyjnego i lędźwiowego kręgosłupa oraz wartości punktowej odczuwanych dolegliwości bólowych w stawach barkowym, łokciowym i nadgarstkowym dała bardzo ciekawe rezultaty. Okazuje się, iż istnieje istotna statystycznie korelacja pomiędzy bólem stawów barkowych a bólem odcinka szyjnego kręgosłupa ( $p < 0,001$ ). Wraz ze wzrostem wartości bólu w odcinku

szyjnym kręgosłupa zwiększa się siła bólu barków zgłaszana przez pracowników przemysłu motoryzacyjnego. Co więcej, istotna korelacja występuje również pomiędzy natężeniem bólu stawów łokciowych ( $p=0,074$ ) i nadgarstkowych ( $p=0,003$ ) a siłą bólu odcinka szyjnego kręgosłupa. Im silniej pracownicy określają ból odcinka szyjnego kręgosłupa tym większe wartości przyjmuje szacowany przez nich ból stawów łokciowych oraz analogicznie - nadgarstkowych. Można zaobserwować także, iż wzrostowi siły bólu barków towarzyszy wzrost natężenia bólu stawów łokciowych ( $p=0,008$ ). Podobna, istotna statystycznie korelacja występuje również przypadku odcinka lędźwiowego i szyjnego kręgosłupa ( $p=0,008$ ), co ponownie zwraca uwagę na zjawisko kompensacji i przenoszenia obciążeń.

Wśród odpowiedzi na pytania ankietowe, respondenci określali również częstotliwość odczuwanych dolegliwości bólowych. Przyjęto przedziały: kilka razy w roku, miesiącu, tygodniu lub codziennie. Ustalono, że wraz ze wzrostem częstotliwości dolegliwości bólowych wzrasta siła bólu określana w punktach skali VAS. Najsilniejsze dolegliwości – średnio 6,5 punktów odczuwają pracownicy uskarżający się na codzienne odczuwanie bólu. Stwierdzono jednak, brak istotnych różnic w sile bólu między osobami odczuwającymi dolegliwości bólowe z różną częstotliwością.

Na podstawie przeprowadzonej analizy danych epidemiologicznych opisanych przez Europejską Agencję Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy wynika, że ból odcinka lędźwiowego kręgosłupa dotyka 85% dorosłego społeczeństwa (EU-OSHA 2010). Statystyki pokazują, że jest on najczęściej zgłaszaną dolegliwością w obszarze narządu ruchu wśród pracowników fizycznych. Przyczyn stałego wzrostu odsetka osób skarżących się na bóle kręgosłupa jest niewątpliwie wiele. Należą do nich: niewystarczająca aktywność fizyczna, słabe wykształcenie, brak wiedzy na temat ergonomii pracy oraz złe nawyki (Neupane i wsp. 2013). Średnia intensywność bólu odcinka lędźwiowego kręgosłupa podczas epizodów bólowych u pracowników fizycznych wynosiła  $5,8 \pm 2,2$  w skali VAS. Dla porównania naukowcy z Kalifornii badali podobną grupę osób, a ich średnie natężenie bólu wynosiło  $4,2 \pm 1,3$  punktu w skali VAS (Stieglitz i wsp. 2016). Z kolei Kruger przeprowadził prace badawcze, ustalając średnie natężenie bólu na  $5,4 \pm 1,8$  punktów w skali VAS wśród pracowników etatowych (Krüger i wsp. 2015). Należy podkreślić, iż we wszystkich przywołanych wyżej artykułach naukowych, grupy badawcze obejmowały osoby, które odczuwały ból w odcinku lędźwiowym kręgosłupa przez co najmniej trzy miesiące. Według takich danych, średnia wartość natężenia bólu lędźwiowego odcinka kręgosłupa, wśród pracowników fizycznych z branży motoryzacyjnej wydaje się być wysoka i wymaga działań interwencyjnych jak i prewencyjnych w celu zmniejszenia lub uniknięcia dolegliwości.



Ryc. 2 Wykresy rozrzutu: a) korelacja pomiędzy natężeniem bólu odcinka lędźwiowego kręgosłupa a intensywnością bólu odcinka szyjnego kręgosłupa, b) korelacja między natężeniem bólu stawu barkowego a natężeniem bólu odcinka szyjnego kręgosłupa, c) korelacja między natężeniem bólu stawu łokciowego w stosunku do natężeniem bólu kręgosłupa szyjnego, d) korelacja pomiędzy natężeniem bólu nadgarstka a natężeniem bólu odcinka szyjnego kręgosłupa, e) korelacja pomiędzy natężeniem bólu stawu łokciowego a natężeniem bólu stawu barkowego, f) korelacja między natężeniem bólu nadgarstka a natężeniem bólu stawu barkowego, g) korelacja między natężeniem bólu stawu barkowego a natężeniem bólu odcinka lędźwiowego kręgosłupa, h) korelacja między natężeniem bólu nadgarstka w stosunku do natężeniem bólu kręgosłupa lędźwiowego

## Publikacja 2

*Błaszczyk, A., Ogurkowska, M.B., 2022. The use of electromyography and kinematic measurements of the lumbar spine during ergonomic intervention among workers of the production line of a foundry. PeerJ 10: e13072, <https://doi.org/10.7717/peerj.13072>*

Osoby zatrudnione w przemyśle motoryzacyjnym, które wykonują podczas pracy powtarzalne ruchy są narażone na wiele czynników ryzyka prowadzących do wystąpienia dolegliwości bólowych odcinka lędźwiowego kręgosłupa. Potwierdzeniem tego faktu jest obraz kliniczny badanej w niniejszym projekcie grupy pracowników. Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań ankietowych oraz tomografii komputerowej kręgosłupa L1-S1, u wszystkich pracowników, wykryto zmiany patologiczne w obszarze odcinka lędźwiowego kręgosłupa. Dotyczyły one głównie zmian w obrębie krążka międzykręgowego (protruzja, bulging, przepuklina) zlokalizowanych na poziomie L4/L5 oraz L5/S1 (80%) (Table 2– publikacja 2).

W związku z patobiomechanizmem zdiagnozowanych zmian przeciążeniowych odcinka lędźwiowego kręgosłupa u badanej grupy mężczyzn, celem niniejszego etapu badań była próba odpowiedzi na pytanie czy instruktaż ergonomiczny prowadzony przez fizjoterapeutę na patogennym stanowisku pracy, może przyczynić się zmiany wyuczonyj pozycji w kierunku optymalizacji obciążeń narządu ruchu, a szczególnie odcinka lędźwiowego kręgosłupa. W związku z powyższym przeprowadzono analizę sygnału EMG z wybranych mięśni tułowia i kończyn górnych oraz zakresów ruchu między segmentami odcinka L1-S1 kręgosłupa przed i po instruktażu ergonomicznym, podczas wykonywania dwóch czynności roboczych.

Dla uwiarygodnienia uzyskanych wyników projektu, przed przystąpieniem do badań głównych, oceniono rzetelność pomiarów (inter-day reliability) zaproponowanych narzędzi badawczych. Wskazano tu na sprzęt służący do badania elektrycznej aktywności mięśni oraz kinematyki ruchu kręgów między sobą podczas interwencji ergonomicznej dla czynności przenoszenia i przesuwania odlewu, wśród pracowników linii produkcyjnej odlewni. Do analizy rzetelności pomiarów zastosowano współczynnik korelacji wewnątrzklasowej ICC(3,k), obliczono dwukierunkowy mieszany efekt spójności pomiarów (Koo i wsp. 2016, Brandt i wsp. 2017). Zgodnie z danymi literaturowymi (Crossley i wsp. 2004) ICC>0.75 oznacza doskonałą rzetelność, 0.40-0.75 dość uczciwą, natomiast 0.00-0.40 słabą rzetelność.



Wyliczony w niniejszym projekcie poziom rzetelności ICC test-retest jest dobry lub doskonały, przy wartościach od 0,769 do 0,999 ( $p < 0,001$ ).

### **Elektromiograficzna ocena wybranych mięśni tułowia i kończyn górnych podczas interwencji ergonomicznej wśród pracowników linii produkcyjnej odlewni**

Celem badania EMG było przede wszystkim sprawdzenie, czy różnica w aktywności elektrycznej danego mięśnia (prawa i lewa strona) była mniejsza po przeprowadzeniu instruktażu ergonomicznego. Należy zauważyć, że podczas aktywności I (Figure 1A – publikacja 2) dla wszystkich badanych mięśni zaobserwowano zmniejszenie kontralateralnych dysproporcji sygnału EMG (Figure 2A; 2F – publikacja 2). Po przeprowadzeniu instruktażu ergonomicznego, różnica w aktywności elektrycznej mięśniowej pomiędzy prawą a lewą stroną zmniejszyła się w sposób statystycznie istotny w pierwszej fazie ruchu (podniesienie odlewu) ( $p = 0,0004$ ) i w drugiej fazie (przeniesienie odlewu) ( $p = 0,0002$ ), a także w trzeciej fazie (odłożenie odlewu) ( $p = 0,0069$ ). W przypadku aktywności II (Figure 1B – publikacja 2) istniała interakcja między kontralateralnym dysbalansem EMG mięśni i czasem - przed i po instrukcji ( $5 \times 2$ ) ( $p = 0,0117$ ). Należy zauważyć, że w przypadku czynności II występują istotnie statystycznie niższe wartości w asymetrii aktywności elektrycznej ES po przeprowadzeniu treningu ergonomicznego, w porównaniu z wartością przed ( $p = 0,0131$ ) (Figure 2G; 2H – publikacja 2).

Podsumowując, po przeprowadzeniu instruktażu ergonomicznego podczas przenoszenia odlewu, dla wszystkich badanych mięśni zmniejszyła się asymetria w aktywności elektrycznej mięśni. Czynność podniesienia odlewu wykonywana jest przy użyciu dwóch kończyn górnych a instruktaż wpłynął pozytywnie na technikę jej przeprowadzania. Takiej sytuacji nie zaobserwowano w przypadku przesuwania odlewu, na co wpływ może mieć fakt, iż ruch ten wykonywany jest przy użyciu jednej kończyny górnej (czynność asymetryczna). Ponadto występowanie bólu odcinka lędźwiowego kręgosłupa zaburza symetrię w pracy mięśni tułowia (Oddsson 2003). Również zaburzenie w obrębie tkanki biernej mogą prowadzić do asymetrii w aktywacji mięśni (Kim 2013). Właśnie zmiany w obrębie elementów ścięgniętych współistnieją ze stwierdzonymi patologicznymi zmianami w obrębie krążków międzykręgowych (widoczne w badaniach tomograficznych pracowników). Istotne zmniejszenie się różnicy w aktywności elektrycznej ES pomiędzy prawą a lewą stroną ma

zapewne związek ze zmianą pozycji całego ciała wynikającą z przeprowadzonego instruktażu. Pacjent korygował pozycję tułowia ale również angażował kończyny dolne – w fazie odłożenia odlewu. Zmieniał również chwyt odlewu w czasie jego podnoszenia zwracając jednocześnie uwagę na zmniejszenie ramienia jego siły ciężkości. Należy ponadto podkreślić, iż ciężar trzymanego odlewu przed i po instruktażu jest taki sam, czyli kolumna kręgosłupa w obu przypadkach narażona jest na działanie patobiomechanizmu mogącego powodować MSD (Ogurkowska i wsp. 2016). Dlatego więc, za główne zadanie przeprowadzonego instruktażu można uznać optymalizację obciążeń.

### **Kinematyczna ocena ruchu odcinka lędźwiowego kręgosłupa podczas interwencji ergonomicznej wśród pracowników linii produkcyjnej odlewni**

System ZRP-3D6-BC został wykorzystany do oceny maksymalnego zakresu ruchu pomiędzy sąsiednimi czujnikami odpowiadającymi kolejnym segmentom ruchowym kręgosłupa lędźwiowego. Na podstawie badania sprawdzono, czy istnieje statystycznie istotna różnica w tym zakresie przed i po instruktażu ergonomicznym

Podczas wykonywania przez pracowników czynności przenoszenia odlewu, stwierdzono statystycznie istotne różnice między zakresami ruchu poszczególnych segmentów ( $p=0,0117$ ), w czasie zgięcia kręgosłupa w płaszczyźnie strzałkowej do przodu. Uzyskano istotnie statystycznie mniejsze wartości ruchu w L1/L2 niż w segmencie L5/S1 ( $p=0,0087$ ) (Figure 3A – publikacja 2). Dla ruchu wyprostowania w płaszczyźnie strzałkowej stwierdzono istotne statystycznie różnice badanego zakresu ruchu między segmentami ( $p=0,0469$ ). Stwierdzono tendencję do istotnie niższych wartości w segmencie L1/L2 niż w segmencie L4/L5 ( $p= 0,0710$ ) (Figure 3B – publikacja 2).

W przypadku zgięcia kręgosłupa w płaszczyźnie czołowej (lewa strona) występują istotne statystycznie różnice między zakresem ruchu w poszczególnych segmentach kręgosłupa lędźwiowego ( $p=0,0031$ ), a dokładniej istotnie większy zakres w L3/L4 niż w L4/L5 ( $p=0,0108$ ) oraz w L5/S1 ( $p=0,0412$ ), a także pomiędzy L1/L2 i L4/L5 (większe w L1/L2,  $p= 0,0487$ ).

Należy podkreślić, że po interwencji ergonomicznej podczas zginania tułowia w płaszczyźnie czołowej w lewą stronę, uzyskano istotnie statystycznie niższe wartości zakresów ruchu między segmentami odcinka L1-S1 kręgosłupa w porównaniu z wartościami sprzed instruktażu ( $p= 0,0231$ ) (Figure 3C – publikacja 2).

W przypadku zgięcia bocznego kręgosłupa w płaszczyźnie czołowej (prawa strona) stwierdzono statystycznie istotne różnice pomiędzy zakresami ruchów w segmentach kręgosłupa lędźwiowego ( $p=0,0012$ ), a dokładniej istotnie niższe w L2/L3 niż w L4/L5 ( $p=0,0069$ ) i w L5/S1 ( $p=0,0261$ ), a także pomiędzy L1/L2 i L4/L5 (niższe w L1/L2,  $p=0,0156$ ). Statystycznie istotnie niższe wartości zakresów ruchu między segmentami uzyskano po instruktażu ergonomicznym w porównaniu z wartościami przed instruktażem ( $p=0,0032$ ) (Figure 3D – publikacja 2).

Podczas wykonywania przez pracowników czynności przesuwania odlewu, wyniki uzyskane dla płaszczyzny strzałkowej wykazały, że większe wartości zakresu ruchu wystąpiły po instruktażu ergonomicznym niż przed (zgięcie –  $p=0,0181$ ; wyprost –  $p=0,1413$ ) (Figure 3E oraz 3F – publikacja 2).

Analizując wyniki dla płaszczyzny czołowej - zgięcie w płaszczyźnie czołowej w prawo, stwierdzono statystycznie istotne różnice zakresów ruchu pomiędzy segmentami ( $p= 0,0040$ ), a dokładniej istotnie niższe wartości w L2/L3 niż w L4/L5 ( $p= 0,0160$ ) i L5/S1 ( $p= 0,0272$ ). Po instruktażu ergonomicznym uzyskano niższe wartości zakresu ruchu w badanych segmentach w porównaniu z wartościami przed instruktażem ( $p=0,1695$ ) (Figure 3H – publikacja 2).

Podsumowując, wyznaczone przy pomocy systemu ZRP-3D6-BC maksymalne zakresy ruchu między segmentami kręgosłupa lędźwiowego podczas przenoszenia odlewu przed instruktażem były co do wielkości zbliżone do wartości referencyjnych ruchomości poszczególnych segmentów (Panjabi, Adams 2004). Oznacza to, że czynność odłożenia odlewu wykonywana była w sposób wymagający pełnego zaangażowania układu ruchu oraz wykorzystania pełnych zakresów ruchomości odcinka lędźwiowego kręgosłupa w płaszczyźnie strzałkowej jak i czołowej. Należy w tym miejscu jednoznacznie podkreślić, że badane w niniejszej pracy zakresy ruchu zachodzące w poszczególnych parach kręgów podczas pracy na danym stanowisku dają dużo bardziej precyzyjny obraz patobiomechanizmu objawów bólowych kręgosłupa lędźwiowego aniżeli ocena całego odcinka L1-S1. W przypadku płaszczyzny strzałkowej widoczne jest również zwiększanie się zmierzonego zakresu ruchu wraz ze zwiększaniem się numeru kręgu lędźwiowego podobnie, jak prezentuje to Panjabi. Efekt ten widoczny jest zarówno dla I jak i II czynności. Natomiast dla płaszczyzny czołowej Panjabi określił, iż największą ruchomość posiadają środkowe segmenty odcinka lędźwiowego kręgosłupa (Panjabi 1989). W zmierzonych maksymalnych zakresach ruchu dla obu czynności również zaobserwowano największe wartości dla środkowych segmentów tego odcinka (płaszczyzna czołowa).

## **Związek aktywności elektrycznej mięśni tułowia i kończyn górnych z zakresami ruchu par kręgów z odcinka L1-S1 kręgosłupa, podczas interwencji ergonomicznej wśród pracowników linii produkcyjnej odlewni**

W ramach niniejszego etapu badań poszukiwano również korelacji pomiędzy różnicą sygnału EMG dla omawianych mięśni, przed i po instruktazu ergonomicznym a różnicą zakresu ruchu w danym segmencie ruchowym, także przed i po interwencji ergonomicznej (Tabela 3 - publikacja 2).

W przypadku aktywności I (Figure 1A – publikacja 2) stwierdzono istnienie statystycznie istotnych związków (Tabela 1). Ustalono, że zwiększenie się zakresu ruchu w płaszczyźnie strzałkowej podczas zgięcia segmentów ruchowych kręgosłupa (L3/L4, L4/L5, L5/S1) istotnie statystycznie koreluje ze zmniejszeniem się różnicy w aktywności elektrycznej mięśni pomiędzy prawą a lewą stroną tułowia, po przeprowadzeniu instruktazu ergonomicznego. Jednakże w płaszczyźnie strzałkowej dla ruchu zgięcia w przód, istotna statystycznie korelacja występuje również pomiędzy zmniejszeniem się zakresu ruchu (przed a po instruktazu ergonomicznym) w segmencie L1/L2 a zmniejszeniem asymetrii w elektrycznej aktywności mięśni pomiędzy prawą a lewą stroną kręgosłupa (Tabela 1).

Natomiast w płaszczyźnie czołowej istotne statystycznie korelacje występowały w przypadku zgięcia w prawą stronę (right lateral flexion - Table 3 - publikacja 2). Dla segmentów L1/L2, L3/L4, L4/L5 zmniejszenie się zakresu ruchu po instruktazu ergonomicznym koreluje ze zmniejszeniem się asymetrii w aktywności mięśni. Natomiast w przypadku segmentów L2/L3, L5/S1 zwiększenie się zakresów ruchu po instruktazu ergonomicznym koreluje ze zmniejszeniem się różnicy w aktywności elektrycznej mięśni pomiędzy prawą a lewą stroną. Co ciekawe, w przypadku czynności II (Figure 1B – publikacja 2) stwierdzono istotną statystycznie korelację (dla omawianej płaszczyzny) pomiędzy zmniejszeniem się zakresu ruchu na poziomie L5/S1 a zwiększeniem się asymetrii w EMG mięśni po przeprowadzeniu instruktazu ergonomicznego (Tabela 1).

Tabela 1 Zestawienie istotnych statystycznie ( $p < 0,05$ ) korelacji pomiędzy deltą (przed a po instruktażu ergonomicznym) sygnału EMG dla danego mięśnia a deltą (przed a po instruktażu) zakresu ruchu w danym segmencie

Activity I					
Plane	Spinal motion segment	Muscle	Phase	R value	p value
SAGITTAL - FLEXION	L3/L4	LD	one	-0.6224 <sup>a</sup>	0.0307
	L3/L4	MD	two	-0.5804 <sup>b</sup>	0.0479
	L4/L5	PM	three	-0.6993 <sup>b</sup>	0.0114
	L4/L5	ES	two	-0.6074 <sup>a</sup>	0.0362
	L5/S1	LD	one	-0.5874 <sup>b</sup>	0.0446
SAGITTAL - EXTENSION	L1/L2	PM	one	0.6853 <sup>b</sup>	0.0139
	L2/L3	ES	one	-0.5771 <sup>a</sup>	0.0495
FRONTAL - RIGHT LATERAL FLEXION	L1/L2	PM	two	-0.6014 <sup>b</sup>	0.0386
	L2/L3	MD	three	0.5874 <sup>b</sup>	0.0446
	L3/L4	LD	one	-0.6643 <sup>a</sup>	0.0185
	L4/L5	MD	three	-0.8042 <sup>b</sup>	0.0016
	L5/S1	PM	three	0.6783 <sup>b</sup>	0.0153
Activity II					
SAGITTAL - EXTENSION	L5/S1	LD		-0.6182 <sup>b</sup>	0.0426
FRONTAL - LEFT LATERAL FLEXION	L4/L5	ES		0.8455 <sup>b</sup>	0.0010
FRONTAL - RIGHT LATERAL FLEXION	L5/S1	ES		-0.6636 <sup>b</sup>	0.0260

Note: <sup>a</sup> - Pearson's correlation test, <sup>b</sup> - Spearman rank correlation test,  $p < 0.05$  statistically significant value

Analizując zmierzone maksymalne wartości zakresu ruchu przed i po instruktażu, dla płaszczyzny strzałkowej, obserwuje się zwiększanie jak i zmniejszanie się zakresów kątowych. W odpowiedzi na przeprowadzony instruktaż badani zmieniali schemat ruchowy, co mogło wpływać na zjawisko kompensacji – zmniejszenie ruchu w jednym segmencie może powodować zwiększanie się ruchu innego segmentu. Patobiomechanizm przenoszenia obciążeń przez kolumnę kręgosłupa powoduje, iż największe obciążenia przenoszone są przez segmenty położone najniżej. Siła grawitacji działająca na kręgosłup posiada dwie składowe, tj. siłę ściskającą i siłę ścinającą. Siła ścinająca ma negatywny wpływ i powoduje wysunięcie się krążka międzykręgowego, co dodatkowo prowadzi do dolegliwości bólowych. Co

ważniejsze, siła ścinająca drastycznie wzrasta w wyniku ruchu, zwłaszcza podczas pochylania się do przodu. Dodatkowo, siła ta jest tym większa im niżej położone są segmenty kręgosłupa, co wynika z kąta nachylenia krążków międzykręgowych w stosunku do płaszczyzny poprzecznej.

Należy pamiętać, że badano zmiany patobiomechaniczne w czasie. Wykonywanie powtarzających się ruchów w nieprawidłowy sposób doprowadzi do powstania przepukliny krążka międzykręgowego i silnego bólu. Dlatego w badaniu skupiono się na sposobie wykonywania czynności i możliwości jego zmiany poprzez instruktaż ergonomiczny (Adams 2010). To właśnie na poziomie L5/S1 w przypadku zgięcia kręgosłupa zaobserwowano zwiększenie się zakresu ruchomości. Jest to najniższy segment odcinka lędźwiowego kręgosłupa, przenoszący największe obciążenia i tym samym najbardziej narażony na powstanie zmian patologicznych (Ogurkowska 2018). Co więcej, obecność u badanych osób zmian patologicznych widocznych w obrazie tomograficznym (im niższy segment tym więcej zmian patologicznych) może z jednej strony być spowodowane nadmiernym obciążaniem dolnych segmentów kręgosłupa a z drugiej zaburzać prawidłowy schemat ruchowy jak i potęgować zjawisko kompensacji. Występowanie zmian degeneracyjnych w obrębie krążka międzykręgowego i związane z tym dolegliwości bólowe będą zaburzać prawidłowy wzorzec podnoszenia/odkładania ciężkiego obiektu (Kraemer 2013). Zmniejszenie się zakresu ruchomości dla danych segmentów wskazywałoby na to, iż czynność odłożenia odlewu wykonywana jest przy zachowaniu fizjologicznej krzywizny kręgosłupa. Taka pozycja pozwala nie obciążać nadmiernie krążków międzykręgowych (równe rozłożenie ciśnienia) i zapobiegać powstawaniu zmian patologicznych (Kraemer 2013). Dodatkowo pojedynczy instruktaż ergonomiczny może być niewystarczającym bodźcem do zaistnienia zmian w wypracowanym/nawykowym wzorcu ruchu (Sundstrup i wsp. 2020).

Zwiększenie symetrii pracy badanych mięśni korelowało zarówno ze zmniejszeniem jak i zwiększeniem się zakresów ruchu poszczególnych segmentów odcinka lędźwiowego kręgosłupa. Aby osiągnąć lepsze wyniki – zmniejszenie dolegliwości bólowych poprzez poprawę pozycji ciała i optymalizację obciążeń w trakcie pracy należałoby wprowadzić wielopłaszczyznową interwencję obejmującą instruktaż ergonomiczny, trening fizyczny oraz trening kognitywno - behawioralny (cognitive-behavioural training - CBT) (Stevens i wsp. 2019). Wczesna interwencja ergonomiczna obejmująca ocenę środowiska pracy, obsługiwane narzędzia lub przyrządy, pozycje ciała w pracy, konieczność przenoszenia ciężkich obiektów, tempo pracy i przerwy w pracy zmniejsza absencję chorobową z powodu dolegliwości ze strony kończyny górnej lub innych schorzeń układu mięśniowo-szkieletowego (Shiri i wsp.

2011). Badanie to pokazało, iż dzieje się tak nawet w przypadku pojedynczego instruktazu/omówienia sytuacji ergonomicznej w zakładzie pracy. Innym sposobem mogłoby okazać się wydłużenie czasu trwania interwencji do kilku tygodni. W przypadku pracowników z WRNSP zastosowanie zindywidualizowanego treningu kontroli motorycznej i porad dotyczących modyfikacji stanowiska pracy w sposób ergonomiczny spowodowało zmniejszenie się dolegliwości bólowych, zwiększenie zakresu ruchomości odcinka szyjnego kręgosłupa oraz zmniejszenie obustronnej aktywności mięśnia czworobocznego podczas aktywnych ruchów szyi i zadań funkcjonalnych, takich jak podnoszenie ciężkich obiektów (Tsang i wsp. 2018).

## 5. Wnioski

1. U mężczyzn zatrudnionych w branży motoryzacyjnej istnieje związek pomiędzy natężeniem bólu odcinka lędźwiowego i szyjnego kręgosłupa a bólem w kolejnych stawach kończyny górnej.
2. Występowanie korelacji w intensywności bólu odcinka lędźwiowego i szyjnego kręgosłupa wskazuje na obecność niekorzystnego mechanizmu kompensacji u pracowników linii produkcyjnej.
3. Pracownicy przemysłu motoryzacyjnego są narażeni na występowanie dolegliwości mięśniowo - szkieletowych, co potwierdza współwystępowanie bólu odcinka szyjnego kręgosłupa z bólem stawów barkowych, łokciowych i nadgarstkowych.
4. Prowadzenie instruktazu ergonomicznego polegającego na nauce prawidłowego wykonania zadania ruchowego zmniejsza asymetrię w elektrycznej aktywności mięśni.
5. Instruktaż ergonomiczny wpływa na zmianę zakresu ruchu segmentów L1-S1 podczas wykonywania pracy na stanowiskach linii produkcyjnej przemysłu motoryzacyjnego.
6. Zadanie optymalizacji obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego, w tym odcinka lędźwiowego kręgosłupa, powinno być realizowane za pomocą odpowiedniej instrukcji ergonomicznej i wielotorowych działań, w tym analizy stanu zdrowia pracowników, ich środowiska pracy oraz aktywności fizycznej poza miejscem pracy.
7. Elektromiografia i pomiary zakresu ruchu odcinka lędźwiowego kręgosłupa wydają się być dobrymi narzędziami do przeprowadzenia oceny ergonomii miejsca pracy.

## II. Piśmiennictwo/References

Abdoli-Eramaki M, Agababova M, Janabi J, Pasko E, Damecour C (2019) Evaluation and comparison of lift styles for an ideal lift among individuals with different levels of training. *Appl Ergon* 78:120-126. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.02.007>

Adams MA (2004) Biomechanics of back pain. *Acupunct Med* 22(4):178-88. <https://doi.org/10.1136/aim.22.4.178>

Adams MA, Bogduk N, Burton K, Dolan P (2010) *Biomechanika bólu kręgosłupa*. DB Publishing, Warszawa

Andersen LL, Clausen T, Mortensen OS et al (2012) A prospective cohort study on musculoskeletal risk factors for long-term sickness absence among healthcare workers in eldercare. *Int Arch Occup Environ Health* 85:615-622. <http://dx.doi.org/10.1007/s00420-011-0709-5>.

Andersen LL, Fallentin N, Ajslev JZN et al (2017) Association between occupational lifting and day-to-day change in low-back pain intensity based on company records and text messages. *Scand J Work Environ Health* 43:68–74. <http://dx.doi.org/10.5271/sjweh.3592>

Andersen LL, Fallentin N, Thorsen SV, Holtermann A (2016) Physical workload and risk of long-term sickness absence in the general working population and among bluecollar workers: prospective cohort study with register follow-up. *Occup Environ Med* 73(4):246-253. <http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2015-103314>

Andreia SP, SousaJoao Manuel RS (2012) Surface electromyographic amplitude normalization methods: A review. In: Takada H (ed) *Electromyography: New Developments, Procedures and Applications*. Nova Science Publishers, Incorporated

Bazazan A, Dianat I, Feizollahi N, Mombeini Z, Shirazi AM, Castellucci HI (2019) Effect of a posture correction–based intervention on musculoskeletal symptoms and fatigue among control room operators. *Appl Ergon* 76:12-19. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.11.008>

Bevan S, Quadrello T, McGee R et al (2009) *Fit for work - musculoskeletal Disorders in the European Workforce*



Będziński R., Biomechanika inżynierska, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997

Błaszczyk A, Zygmawska-Jabłońska M, Wegner-Czerniak K, Ogurkowska MB (2020) Evaluating Progressive Overload Changes of the Musculoskeletal System in Automobile Industry Workers. *Pol J Environ Stud* 29(4):2579-2586. <https://doi.org/10.15244/pjoes/111883>

Brandt M, Andersen LL, Samani A, Jakobsen MD, Madeleine P (2017) Inter-day reliability of surface electromyography recordings of the lumbar part of erector spinae longissimus and trapezius descendens during box lifting. *BMC Musculoskelet Disord* 18(1):519. doi: 10.1186/s12891-017-1872-y

Burden A (2010) How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25 years of research. *J Electromyogr Kinesiol* 20(6):1023-1035. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.07.004>

Burden AM, Trew M, Baltzopoulos V (2003) Normalisation of gait EMGs: a re-examination. *J Electromyogr Kinesiol* 13(6):519-532

Buseck M, Schipplein OD, Andersson GB, Andriacchi TP (1988) Influence of dynamic factors and external loads on the moment at the lumbar spine in lifting. *Spine (Phila Pa 1976)* 13(8):918-21. doi: 10.1097/00007632-198808000-00009

Chiasson M, Imbeau D, Major J et al. (2015) Influence of musculoskeletal pain on workers' ergonomic risk-factor assessments. *Appl Ergon* 49(1). <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.12.011>

Clancy EA, Morin EL, Merletti R (2002) Sampling, noise-reduction and amplitude estimation issues in surface electromyography. *J Electromyogr Kinesiol* 12(1):1-16. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(01\)00033-5](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(01)00033-5)

Cram J, Kasman G, Holtz J (1998) Introduction to surface EMG. Aspen Publishers, Maryland

Crossley KM, Bennell KL, Cowan SM, et al. (2004) Analysis of outcome measures for persons with patellofemoral pain: which are reliable and valid? *The Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 85: 815–822

DeLuca C (1997) The Use of Surface Electromyography in Biomechanics. *J Appl Biomech* 13(2):135-163

Dennerlein JT (2017) Ergonomics and Musculoskeletal Issues. In: Quah SR (ed) *International Encyclopedia of Public Health*, 2nd edn. Academic Press, Boston, pp 577-584. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00139-9>

EU-OSHA: OSH in figures [Internet]: Work-related musculoskeletal disorders in the EU - Facts and figures. Luxembourg 2010 [Cited: 12.12.2018]. <https://osha.europa.eu>;

Faber GS, Kingma I, Dieën JH (2011) Effect of initial horizontal object position on peak L5/S1 moments in manual lifting is dependent on task type and familiarity with alternative lifting strategies. *Ergonomics* 54:72-81

Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G (2000) Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol* 10:361–374

Hwang S, Kim Y, Kim Y (2009) Lower extremity joint kinetics and lumbar curvature during squat and stoop lifting. *BMC Musculoskelet Disord* 10(1):15-20

Jakobsen MD, Sundstrup E, Brandt M, Persson R, Andersen LL (2018) Estimation of physical workload of the low-back based on exposure variation analysis during a full working day among male blue-collar workers. Cross-sectional workplace study. *Appl Ergon* 70:127-133. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.02.019>

Kasman GS, Cram JR, Wolf SL, Barton L (1998) *Clinical Applications in Surface Electromyography. Chronic Musculoskeletal Pain*. Aspen Publishers, Maryland

Kim M, Yoo W, Choi B (2013) Differences between two subgroups of low back pain patients in lumbopelvic rotation and symmetry in the erector spinae and hamstring muscles during trunk flexion when standing. *J Electromyogr Kinesiol* 23(2):387–393

Konarska M, Wolska A, Widerszal-Bazyl M, Bugajska J, Roman-Liu D, Aarås A (2005) The Effect of an Ergonomic Intervention on Musculoskeletal, Psychosocial and Visual Strain of VDT Data Entry Work: The Polish Part of the International Study. *Int J Occup Saf Ergon* 11(1):65-76. <https://doi.org/10.1080/10803548.2005.11076631>

Koo TK, Li MY (2016) A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med* 15(2):155-163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>

Kraemer J (2013) *Intervertebral disc diseases: Causes, diagnosis, treatment, and prophylaxis.* Elsevier Urban & Partner, Wrocław

Krüger PE, Billson JH, Wood PS, Do Toit PJ (2015) The effect of chronic low back pain on daily living and fear-avoidance beliefs in working adults. *AJPHRD*. 21(1:2):300

McCormack HM, Horne DJ, Sheather S. Clinical applications of visual analogue scales: a critical review. *Psychol Med*. 1988, (18): 1007–19

Macdonald W, Oakman J (2013) Requirements for more effective prevention of work-related musculoskeletal disorders. *BMC Musculoskeletal Dis* 16:293. <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0750-8>

Matsudaira K, Konishi H, Miyoshi K, Isomura T et al (2012) Potential risk factors for new onset of back pain disability in Japanese workers: Findings from the Japan epidemiological research of occupation-related back pain study. *Spine* 37:1324-1333

Merletti R (1999) Standards for reporting EMG data. *J Electromyogr Kinesiol* 9:III–IV

Neupane S, Miranda H, Virtanen P, Siukola A, Nygård CH (2013) Do physical or psychosocial factors at work predict multi-site musculoskeletal pain? A 4-year follow-up study in an industrial population. *Int Arch Occup Environ Health* 86(5):581. <https://doi.org/10.1007/s00420-012-0792-2>.

Oddsson LIE, Carlo JL (2003) Activation imbalances in lumbar spine muscles in the presence of chronic low back pain. *J Appl Physiol* 94(4):1410–1420

Ogurkowska M, Kawalek K (2016) Pathological changes in the lumbar intervertebral discs among professional field hockey players. *J Sports Med Phys Fitness* 56(1-2):85-91

Ogurkowska MB, Błaszczyk A (2018) Variation in human vertebral body strength for vertebral body samples from different locations in segments L1-L5. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 60:66-75. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2018.10.008>

Overton M, Reynolds E, Clark N, Bhana H, Mulligan H, Elliot K, Minnoch P (2016) Physical activity levels and injury prevention knowledge and practice of a cohort of carpentry students. *NZ J Physiother* 44(2):84-90. doi: 10.15619/NZJP/44.2.03

Panjabi M, Yamamoto I, Oxland T et al (1989) How does posture affect coupling in the lumbar Spine? *Spine* 14:1002-1011

Reger SI, Shah A, Adams TC, Endredi J et al (2006) Classification of large array surface myoelectric potentials from subjects with and without low back pain. *J Electromyogr Kinesiol* 16:392-401

Rivilis I, Eerd D, Cullen K, Cole DC, Irvin E, Tyson J, Mahood Q (2008) Effectiveness of participatory ergonomic interventions on health outcomes: A systematic review. *Appl Ergon* 39(3):342-358. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2007.08.006>

Rodríguez, Y (2018) Individual Risk Assessment (ERIN): Method for the Assessment of Workplace Risks for Work-Related Musculoskeletal Disorders. In J. Hernández Arellano, A. Maldonado Macías, J. Castillo Martínez, & P. Peinado Coronado (Eds.). *Handbook of Research on Ergonomics and Product Design* 1-27. IGI Global. <http://doi:10.4018/978-1-5225-5234-5.ch001>

Shiri R, Martimo KP, Miranda H, Ketola R, Kaila-Kangas L, Liira H, Karppinen J, Viikari-Juntura E (2011) The effect of workplace intervention on pain and sickness absence caused by upper-extremity musculoskeletal disorders. *Scand J Work Environ Health*. 37(2):120-8. doi: 10.5271/sjweh.3141

Stieglitz DD, Vinson DR, Hampton MC (2016) Equipment-based Pilates reduces work-related chronic low back pain and disability: A pilot study. *J Bodyw Mov Ther*. 20(1):74. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2015.06.006>.

Sterud T, Tynes T (2013) Work-related psychosocial and mechanical risk factors for low back pain: a 3-year follow-up study of the general working population in Norway. *Occup Environ Med* 70:296–302. <http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2012-101116>

Stevens ML, Boyle E, Hartvigsen J, Mansell G, Søgaard K, Jørgensen MB, Holtermann A, Rasmussen CDN (2019) Mechanisms for reducing low back pain: a mediation analysis of a multifaceted intervention in workers in elderly care. *Int Arch Occup Environ Health* 92(1):49-58. <https://doi.org/10.1007/s00420-018-1350-3>

Stevenson J., Looking forward by looking back: Helping to reduce work-related musculoskeletal disorders, Sounding Board, 2014, vol. 47, 137 – 141

Sundstrup E, Seeberg KGV, Bengtsen E, Andersen LL (2020) A Systematic Review of Workplace Interventions to Rehabilitate Musculoskeletal Disorders Among Employees with Physical Demanding Work. *J Occup Rehabil.* 30(4):588-612. doi: 10.1007/s10926-020-09879-x

Tsang SMH, So BCL, Lau RWL, Dai J, Szeto GPY (2018) Effects of combining ergonomic interventions and motor control exercises on muscle activity and kinematics in people with work-related neck-shoulder pain. *Eur J Appl Physiol.* 118(4):751-765. doi: 10.1007/s00421-018-3802-6

### **III. Streszczenie/Abstract**

#### **Wprowadzenie**

Zaburzenia mięśniowo-szkieletowe są najczęstszym schorzeniem w Europie (EU-OSHA). Czynniki ryzyka, takie jak wykonywanie powtarzalnych ruchów, wysokie standardy produkcji, przenoszenie ciężkich przedmiotów, zginanie i rotacja kręgosłupa, są ogólnie uważane za główną przyczynę zaburzeń układu mięśniowo-szkieletowego wśród pracowników wykonujących czynności związane z przenoszeniem (Andersen i wsp. 2016, 2017; Sterud i wsp. 2013; Matsudaira i wsp. 2012). Pracownicy przenoszący ciężkie obiekty często nadmiernie obciążają odcinek lędźwiowy kręgosłupa, przez co narażają się na ryzyko wystąpienia zaburzeń mięśniowo-szkieletowych i urazów kręgosłupa

#### **Metody badawcze**

Przeprowadzono ankietę wśród 111 pracowników odlewni i działu montażu w przemyśle motoryzacyjnym. Zebrano informacje o lokalizacji, rodzaju i nasileniu (skala VAS) bólu. Mężczyźni określili również staż pracy, rodzaj pracy, liczbę wykonywanych powtarzalnych ruchów oraz wiedzę z zakresu ergonomii pracy. Kolejnym etapem badań objęto 12 pracowników linii produkcyjnej odlewni. W laboratorium badawczym zbudowano stanowisko doskonale imitujące pracę na linii produkcyjnej. Pracownicy wykonywali dwie, podstawowe czynności charakterystyczne dla ich typowego dnia pracy, tj. przenoszenie i przesuwanie odlewu. Następnie, fizjoterapeutka przeprowadzała instruktaż ergonomiczny, a oni ponownie wykonywali przydzielone zadania. Podczas pracy rejestrowano sygnał elektromiograficzny z pięciu mięśni pod kątem symetrii ich pracy. Za pomocą systemu ZRP-3D6-BC mierzono maksymalne zakresy kątowe segmentów ruchowych kręgosłupa lędźwiowego.

#### **Wyniki**

Z badań ankietowych wynika, iż ból o największym natężeniu odczuwany był przez pracowników w odcinku lędźwiowym i szyjnym kręgosłupa oraz w stawach barkowych. Wyniki badań wskazują również, że istnieje korelacja między bólem odcinka lędźwiowego i szyjnego kręgosłupa z jednej strony, a bólem kolejnych stawów kończyny górnej z drugiej. Kontynuacja badań w laboratorium biomechanicznym wykazała zmniejszenie się asymetrii

w czynnościach elektrycznych mięśni po instruktażu ergonomicznym podczas czynności I. Różnica ta była istotna statystycznie dla ES w fazie I i II oraz LT i MD w fazie II ruchu. Podczas przesuwania odlewu jedynie ES wykazywał statystycznie istotnie bardziej symetryczną pracę po instruktażu ergonomicznym. W przypadku czynności I statystycznie istotnie większą różnicę w zakresie ruchu przed i po instruktażu zaobserwowano dla odcinka L5/S1 w płaszczyźnie strzałkowej dla zgięcia kręgosłupa, natomiast w płaszczyźnie czołowej statystycznie istotnie mniejszą różnicę zaobserwowano na poziomie L1/L2 dla zgięcia w lewo i L4/L5 dla zgięcia w prawo w płaszczyźnie czołowej.

## **Wnioski**

Głównym problemem bólowym pracowników przemysłu motoryzacyjnego jest ból odcinka lędźwiowego kręgosłupa. Dodatkowo intensywność bólu koreluje z dolegliwościami odcinka szyjnego kręgosłupa oraz bólem kolejnych stawów kończyny górnej. Dolegliwości te wynikają z charakteru pracy na linii produkcyjnej - głównie z wykonywania wielokrotnych, powtarzalnych ruchów. Instruktaż ergonomiczny wpływa na zmniejszenie asymetrii w pracy mięśni oraz zmianę zakresu ruchu w odcinku lędźwiowym kręgosłupa na danym stanowisku pracy. Elektromiografia i pomiary zakresu ruchu kręgosłupa lędźwiowego wydają się być dobrym narzędziem do sprawdzenia, czy pracownicy reagują na przeprowadzony instruktaż zmianą pozycji ciała podczas pracy. Aby zapewnić podjęcie działań holistycznych, należy wprowadzić odpowiedni instruktaż ergonomiczny ale też działania wielokierunkowe, w tym analizę stanu zdrowia pracowników, ich środowiska pracy i aktywności fizycznej poza miejscem pracy.

## **Abstract**

### **Introduction**

Musculoskeletal disorders are the most common disease in Europe (EU-OSHA). Risk factors such as performing repetitive movements, high production standards, carrying heavy objects, spine flexion and rotation are generally considered to be the main causes of musculoskeletal disorders among workers performing handling activities (Andersen 2016, 2017; Sterud 2013; Matsudaira 2012). Workers carrying heavy objects often overload the lumbar spine which put them at risk of musculoskeletal disorders and spinal injuries

## **Material and methods**

A survey was conducted among 111 employees of foundries and assembly department. Information on the location, type and intensity (VAS scale) of pain was collected. The men also determined the job seniority, type of work, number of repetitive movements and knowledge of work ergonomics. The next stage of the research covered 12 employees of the foundry's production line. In the research laboratory, a stand has been built that perfectly simulates the work on the production line. The workers performed two basic activities typical of their typical working day, i.e. carrying and moving the casting. Then the physiotherapist conducted ergonomic training, and they performed their assigned tasks again. During the work, the electromyographic signal from five muscles was recorded in terms of the symmetry of their work. Using the ZRP-3D6-BC system, the maximum angular ranges of the movement segments of the lumbar spine were measured.

## **Results**

The survey shows that the greatest pain was experienced by workers in the lumbar and cervical spine and shoulder joints. The results of the research also indicate that there is a correlation between pain in the lumbar and cervical spine on the one hand, and pain in subsequent joints in the upper limb on the other. The continuation of research in the biomechanical laboratory showed a decrease in the asymmetry in the electrical activities of muscles after ergonomic instruction for the examined muscles during activity I. This difference was statistically significant for ES in phase I and II, and LT and MD in phase II of movement. When moving the casting, only ES showed statistically significantly more symmetrical work after ergonomic training. In the case of activity I, a statistically significantly greater difference in the range of movement before and after the instruction was observed for the L5/S1 segment in the sagittal plane for spine flexion, while in the frontal plane, a statistically significantly smaller difference was observed at the level L1/L2 for the left and L4/L5 for the right lateral bend.

## **Conclusions**

The main pain problem for workers in the automotive industry is pain in the lumbar spine. In addition, this pain correlates with the discomfort of the cervical spine and pain in the subsequent joints of the upper limb. These ailments result from the nature of work on the



production line - mainly from performing multiple, repetitive movements. Ergonomic training reduces the asymmetry in the work of muscles and changes the range of motion in the lumbar spine at a given workplace. Electromyography and measurements of the range of motion of the lumbar spine seem to be a good tool to check whether employees react to the instructed change of work position. In order to ensure that holistic actions are taken, appropriate ergonomic instructions should be introduced, but also multidirectional actions, including the analysis of the health condition of employees, their work environment and physical activity outside the workplace.

## **IV. Aktywność naukowa i zawodowa Doktorantki**

### **1. Wykształcenie**

- Akademia Wychowania Fizycznego im. E. Piaseckiego w Poznaniu  
Magister Fizjoterapii, specjalizacja: Fizjoterapia w sporcie
- Politechnika Poznańska  
Inżynier - Inżynieria Biomedyczna, specjalizacja: Protezowanie i ortezowanie

### **2. Aktywność zawodowa**

#### **Asystent w Zakładzie Biomechaniki Akademii Wychowania Fizycznego im. E. Piaseckiego w Poznaniu**

- Staż zagraniczny – *ETH Zurich, Institute for Biomechanics, Laboratory for Movement*, lipiec 2019, w ramach projektu PROM – staż z zakresu wykorzystania systemów motion capture w analizie biomechanicznej chodu oraz czynności dnia codziennego
- Udział w projektach badawczych:
  - Projekt pt. „*Wpływ treningu marszowego Bungy Pump na sprawność funkcjonalną osób po 60 roku życia*”. Projekt w latach 2020-2021
  - Projekt realizowany w ramach programu „Rozwój Sportu Akademickiego” pt. *Patobiomechaniczna ocena wpływu zmian przeciążeniowych w obrębie narządu ruchu na wynik sportowy w rocznym cyklu szkoleniowym u zawodników uprawiających asymetryczne dyscypliny - kontekst optymalizacji treningu*, Numer rejestracyjny projektu N RSA4 06154. Projekt w latach 2016 – 2019
  - Projekt w ramach programu „Rozwój młodych pracowników nauki” pt. *Biomechaniczna ocena przeciążeń narządu ruchu u osób pracujących na stanowisku rdzeniarz/odlewnik w przemyśle motoryzacyjnym*. Projekt w latach 2017-2019
- Udział w *Nocy Naukowców* w ramach zajęć prowadzonych w laboratorium biomechaniczno – kinezyjologicznym Zakładu Biomechaniki AWF Poznań

## Udział czynny w konferencjach naukowych:

- Symposium Biomechaniki Sportu i Rehabilitacji 2019, Warszawa
  - Błaszczyk Anna, Fryzowicz Anna, Ogurkowska Małgorzata, *Elektromiograficzna ocena fenomenu zgięcia – relaksacji w kontekście parametrów geometrycznych kręgosłupa u pracowników fizycznych przemysłu motoryzacyjnego*
- ESBiomech 2019, Vienna
  - Błaszczyk Anna, Zygmńska Magdalena, Ogurkowska Małgorzata, *Comparison of maximum values of muscle torque between right- and left-sided long paddle rowers*
- International Conference of Polish Society of Biomechanics, Biomechanics Zielona Góra 2018
  - Błaszczyk Anna, Czechowski Stanisław, Wegner-Czerniak Katarzyna, Ogurkowska Małgorzata, *Analysis of maximum upper limb joint torque in professional athletes practising asymmetrical strength and endurance sports*
  - Czechowski Stanisław, Błaszczyk Anna, Ogurkowska Małgorzata, *Comparison of maximum lower limb muscle torques in elite long paddle rowers*
- Międzynarodowe Seminarium Ergonomii, Poznań 23 – 25 maja 2018,
  - Katarzyna Wegner-Czerniak, Anna Lisowska, Anna Błaszczyk, Małgorzata Ogurkowska *Geometria odcinka lędźwiowego kręgosłupa oraz ocena stopnia niepełnosprawności u monterów przemysłu motoryzacyjnego*
- 30 International Seminar of Ergonomy, 9-11.05.2017r., Tarnów, Organizatorzy: Polskie Towarzystwo Ergonomiczne, Politechnika Poznańska
  - Zygmńska M., Błaszczyk A., Wegner K., Ogurkoska M., *Przeciążenia odcinka lędźwiowego kręgosłupa wśród pracowników administracyjnych*. Międzynarodowe seminarium ergonomii, Ergonomia i bezpieczeństwo pracy w całościowej aktywności człowieka
  - Wegner K., Błaszczyk A., Zygmńska M., Ogurkoska M., *Ocena zmian przeciążeniowych kręgosłupa u pracowników przemysłu motoryzacyjnego*.

Międzynarodowe seminarium ergonomii, Ergonomia i bezpieczeństwo pracy w całościowej aktywności człowieka, Tarnów

Udział czynny w poniższych konferencjach pod nazwiskiem panińskim – Sznycer Anna:

- International Conference of the Polish Society of Biomechanics, Biała Podlaska, 5-7.09.2016
  - Sznycer A., Wegner K., Zygmąńska M., Lisowska A., Ogurkowska M., Gabryelski J., *Analysis of progressive overload changes in automotive industry employees*. W: Biomechanics 2016, Biała Podlaska, 2016, ISBN:978-83-61509-39-4, s.267-268
  - Lisowska A., Wegner K., Sznycer A., Zygmąńska M., Lisowska A., Ogurkowska M., Gabryelski J., *Analysis of pain of Kata Karate Shotokan competitors, which is the result of musculoskeletal system overload*. W: Biomechanics 2016, Biała Podlaska, 2016, ISBN:978-83-61509-39-4, s.165-166
- Majówka Młodych Biomechanków im. prof. Dagmary Tejszerskiej Ustroń, 20-22.05.2016
  - Zygmąńska M., Lisowska A., Wegner K., Sznycer A., Ogurkowska M., Gabryelski J. *The impact of a musculoskeletal system load method on resulting overload changes*
- International Poznań Course In Upper Externity Surgery and 1st Meeting of the Polish Schouler and Elbow Society, Poznań, 17 – 19.03.2016
- VIII Festiwalu Nauki i Kultury Studenckiej AWF „FENIKS 2015” Poznań, 19 – 20.11.2015  
Sznycer A. *Nowoczesne metody zaopatrzenia ortopedycznego na przykładzie kończyny górnej*
- VIII Majówka z Fizjoterapią w Lublinie organizowana przez Uniwersytet Medyczny w Lublinie 7-8.05.2015  
Sznycer A., Raęlewska P. *Zalety i wady wykorzystania druku 3D w fizjoterapii*  
Praca otrzymała wyróżnienie
- II Międzynarodowa Konferencja Naukowa Studentów i Młodych Naukowców w Rzeszowie 23 – 24.04.2015

Szzyner A., Ziółkowska – Łajp E. *Aktywność fizyczna i budowa ciała studentek wybranych poznańskich uczelni*

#### **Fizjoterapeutka, specjalista zaopatrzenia ortopedycznego:**

- Kurs badania dziecka z MPD pod kątem analizy chodu, Warszawa
- Szkolenie z zakresu masażu i terapii ostrych stanów przeciążeniowych  
Sanus, Poznań,
- Kurs wykonywania indywidualnego zaopatrzenia kończyn górnych z niskotemperaturowych tworzyw termoplastycznych: Train the Teacher – thermoplastic workshops, Belgia
- PODIATECH Medical Foot Solutions – projektowanie i wykonywanie indywidualnych wkładek ortopedycznych, Kraków

#### **Osiągnięcie sportowe:**

- 6 miejsce Mistrzostw Świata w Piłce Ręcznej Plażowej – Beach handaball World Championships Kazan 2018
- Wcemistrzostwo Europy w Piłce Ręcznej Plażowej - EHF Beach Handball EURO Zagreb 2017
- Wicemistrzostwo Polski w Piłce Ręcznej Plażowej w latach 2008, 2012, 2017, 2018
- III miejsce Mistrzostw Polski w Piłce Ręcznej Plażowej w latach 2009, 2013, 2015, 2019
- 7 miejsce Klubowych Mistrzostw Europy - European Beach Handball Tour Finals Gaeta 2017

#### **V. Załączniki**

- Oświadczenia współautorów
- Publikacja 1
- Publikacja 2
- Anti – plagiarism System



Komisja Bioetyczna przy Uniwersytecie Medycznym  
im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Collegium Stomatologicum  
ul. Bukowska 70  
60-812 Poznań

tel. (+48 61) 854 73 36  
www.bioetyka.ump.edu.pl

**Uchwała nr 561/18**

Na podstawie przepisów Ustawy z dnia 5 grudnia 1996 r. o zawodach lekarza i lekarza dentystry (t.j. Dz. U. z 2017, poz. 125 z późn. zm.); Rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 11 maja 1999r. w sprawie szczegółowych zasad powoływania i finansowania oraz trybu działania komisji bioetycznych (Dz. U. Nr 47, poz. 480); Ustawy z dnia 6 września 2001r. Prawo farmaceutyczne (t.j. Dz. U. z 2016, poz. 2142 z późn. zm.); Rozporządzenia Ministra Finansów z dnia 30 kwietnia 2004r. w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej badacza i sponsora (Dz. U. 2004 nr 101, poz. 1034 z późn. zm.); Rozporządzenia Ministra Finansów z dnia 18 maja 2005r. zmieniające rozporządzenie w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej badacza i sponsora (Dz. U. Nr 101, poz. 845); Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 30 kwietnia 2004r. w sprawie sposobu prowadzenia badań klinicznych z udziałem małoletnich (Dz. U. 2004 Nr 104, poz. 1108); Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 30 kwietnia 2004r. w sprawie zgłaszania niespodziewanego ciężkiego niepożądanego działania produktu leczniczego (Dz. U. Nr 104, poz. 1107); Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 17 lutego 2016 r. I w sprawie wzorów wniosków związanych z badaniem klinicznym wyrobu medycznego lub aktywnego wyrobu medycznego do implantacji oraz wysokości opłat za złożenie tych wniosków (Dz. U. z 2016 r., poz. 208); Ustawy z dnia 20 maja 2010 r. o wyrobach medycznych (t.j. Dz. U. z 2017r. poz. 211, z późn. zm.); Rozporządzenie Ministra Finansów z dnia 6 października 2010 r. w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej sponsora i badacza klinicznego w związku z prowadzeniem badania klinicznego wyrobów (Dz. U. 2010, Nr 194 poz. 1290); Ustawy z dnia 18 marca 2011 r. o Urzędzie Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych (t.j. Dz. U. z 2016 r., poz. 1718); Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 2 maja 2012r. w sprawie Dobrej Praktyki Klinicznej (Dz. U. 2012, poz. 489); Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 2 maja 2012r. w sprawie wzorów dokumentów przedkładanych w związku z badaniem klinicznym produktu leczniczego oraz w sprawie wysokości i sposobu uiszczania opłat za złożenie wniosku o rozpoczęcie badania klinicznego (Dz. U. 2012, Nr 0 poz. 491); w oparciu o Deklarację Helsińską - Zasady Etycznego Postępowania w Eksperymentach Medycznych z Udziałem Ludzi oraz przepisy ICH GCP.

**Komisja Bioetyczna, na posiedzeniu w dniu 16 maja 2018 r.**

**rozpatrzyła wniosek dotyczący prowadzenia badań naukowych.**

**Kierownik projektu:**

**prof. nadzw. dr hab. Małgorzata B. Ogurkowska**

**Miejsce prowadzenia badań:**

**Akademia Wychowania Fizycznego w Poznaniu**

**Główny badacz: mgr inż. Anna Błaszczyk**

**Członkowie zespołu**

**badawczego: dr Jarosław Kabaciński  
dr Michał Murawa  
mgr Jacek Mączyński  
mgr Anna Fryzowicz**

**Temat badań:**

**„Zmiany przeciążeniowe narządu ruchu wśród pracowników przemysłu motoryzacyjnego”.**

**Komisja wydała uchwałę o pozytywnym zaopiniowaniu tego wniosku**

**Przewodniczący Komisji**

**prof. zw. dr hab. med. Paweł Chęciński**

Poznań, 4.05.2022

mgr Katarzyna Wegner - Czerniak

Zakład Biomechaniki

Akademia Wychowania Fizycznego  
im. E. piaseckiego w Poznaniu

Dotyczy wniosku o przeprowadzenie postępowania doktorskiego mgr inż. Anny Błaszczyk

### Oświadczenie współautora

Mój udział w powstawaniu niżej wymienionej pracy polegał na realizacji części eksperymentalnej projektu.

Swój udział oceniam na 10%

Błaszczyk, A., Zygmanska-Jablonska, M., Wegner-Czerniak, K., Ogurkowska, M.B., 2020.  
Evaluating progressive overload changes of the musculoskeletal system in automobile  
industry workers. Polish Journal of Environmental Studies, 29(4),  
<https://doi.org/10.15244/pjoes/111883>

Impact Factor - 1,66, punkcja MEiN – 40

Potwierdzenie współautora:

Katarzyna Wegner - Czerniak .....

*Katarzyna Wegner-Czerniak*

Poznań, 4.05.2022

mgr Magdalena Jabłońska

Zakład Biomechaniki

Akademia Wychowania Fizycznego  
im. E. piaseckiego w Poznaniu

Dotyczy wniosku o przeprowadzenie postępowania doktorskiego mgr inż. Anny Błaszczyk

### Oświadczenie współautora

Mój udział w powstawaniu niżej wymienionej pracy polegał na realizacji części eksperymentalnej projektu.

Swój udział oceniam na 10%

Błaszczyk, A., Zygmanska-Jablonska, M., Wegner-Czerniak, K., Ogurkowska, M.B., 2020.  
Evaluating progressive overload changes of the musculoskeletal system in automobile  
industry workers. Polish Journal of Environmental Studies, 29(4),  
<https://doi.org/10.15244/pjoes/111883>

Impact Factor - 1,66, punkacja MEiN – 40

Potwierdzenie współautora:

Magdalena Jabłońska





Poznań, 4.05.2022

Prof. AWF dr hab. Małgorzata Ogurkowska

Zakład Biomechaniki

Akademia Wychowania Fizycznego  
im. E. Piaseckiego w Poznaniu

Dotyczy wniosku o przeprowadzenie postępowania doktorskiego mgr inż. Anny Błaszczyk

### Oświadczenie współautora

Mój udział w powstawaniu niżej wymienionej pracy polegał na przygotowaniu koncepcji pracy badawczej, analizie i interpretacji wyników oraz przygotowaniu tekstu publikacji.

Swój udział, w wymienionej niżej pracy oceniam na 25%

Błaszczyk, A., Zygmańska-Jablonska, M., Wegner-Czerniak, K., Ogurkowska, M.B., 2020.  
Evaluating progressive overload changes of the musculoskeletal system in automobile  
industry workers. Polish Journal of Environmental Studies, 29(4),  
<https://doi.org/10.15244/pjoes/111883>

Impact Factor - 1,66, punkcja MEiN – 40

Potwierdzenie współautora:



Małgorzata Ogurkowska .....

Poznań, 4.05.2022

Prof. AWF dr hab. Małgorzata Ogurkowska

Zakład Biomechaniki

Akademia Wychowania Fizycznego

im. E. Piaseckiego w Poznaniu

Dotyczy wniosku o przeprowadzenie postępowania doktorskiego mgr inż. Anny Błaszczyk

### Oświadczenie współautora

Mój udział w powstawaniu niżej wymienionej pracy polegał na opracowaniu metodologii badań, realizacji części eksperymentalnej projektu, analizie i interpretacji wyników oraz przygotowaniu tekstu publikacji.

Swój udział oceniam na 40%

Błaszczyk, A., Ogurkowska, M.B., 2022. The use of electromyography and kinematic measurements of the lumbar spine during ergonomic intervention among workers of the production line of a foundry. PeerJ 10: e13072, <https://doi.org/10.7717/peerj.13072>

~~Impact Factor – 2,98, punkacja MEiN – 100~~

Potwierdzenie współautora:



Małgorzata Ogurkowska .....

*Original Research*

# Evaluating Progressive Overload Changes of the Musculoskeletal System in Automobile Industry Workers

**Anna Błaszczuk\*, Magdalena Zygmąńska-Jabłońska, Katarzyna Wegner-Czerniak, Małgorzata B. Ogurkowska**

Poznan University of Physical Education, Department of Biomechanics, Poznań, Poland

*Received: 8 March 2019*

*Accepted: 21 August 2019*

## Abstract

The formation of overload changes is a well-known concept. Numerous factors contributing to the development of progressive overload changes have also been described, including stress, performing repetitive movements, non-physiological working position, etc. [2-4]. Production line workers constitute an occupational group that is exposed to many of the above-mentioned risk factors. Therefore, the aim of our study is to establish the most common types of musculoskeletal overloads and to investigate the effect of upper extremity overload changes in the lumbosacral spine. A survey was conducted on 111 foundry and assembly workers. Information on the location, type and intensity (VAS scale) of pain was collected. The men also defined their job seniority, type of work, number of repetitive movements performed and knowledge of work ergonomics. Pain of the highest intensity was experienced by the workers in the lumbar and cervical spine and the shoulder joints. Results of the study also show that there is a correlation between lumbar and cervical pain on the one hand, and pain in subsequent joints of the upper extremity on the other. Repeated pain episodes may also reflect the progressive nature of the overload changes.

**Keywords:** musculoskeletal pain; occupational disease, lower back syndrome, industry workers, automotive industry

## Introduction

The notion of overload of the musculoskeletal system has been known for many years. Although musculoskeletal disorders constitute the most frequent

conditions in Europe, prophylactic and in-depth diagnostic measures in terms of the occurrence of the overload disease are implemented infrequently [1]. The reason for the occurrence of overload changes should therefore be considered. Activities that are conducive to the development of musculoskeletal overload are defined as risk factors. These include the following: repetitive movements, improper body posture, use of heavy equipment or carrying objects whose shape and dimensions make them difficult to handle. Stress,

---

\*e-mail: annasz1@onet.pl

obesity and quantitative requirements are also of significance [2-4]. All physical and psychophysical factors as well as the work environment affect worker health and mood. Fatigue, constant stress, anxiety and extremity and back pain are enumerated among the most frequent symptoms [5]. The nature of the work performed by male production line workers involves carrying vehicle components and performing repetitive movement patterns under significant time and efficiency pressure, which results in lumbar spine and upper extremity overload.

The automotive industry is a thriving sector of the economy [6]. In spite of the progressing robotization of production lines, car factories still employ many physical workers. It should be borne in mind that the automotive industry requires production lines to be rearranged each time before the production of a new vehicle model starts. Modernisation allows for improving workstations, including in terms of production efficiency, work safety and ergonomics. Nowadays construction teams are no longer composed solely of engineers. Physicians, physiotherapists and specialists in ergonomics are involved in constructing workstations and oversee worker safety and good health [7]. Taking the risk factors into account and performing an in-depth evaluation of every workstation are necessary in each modern enterprise. The elimination of harmful factors prevents the occurrence of musculoskeletal disorders and positively affects worker health [8].

Preventing musculoskeletal disorders also has a positive influence on the economic situation of a particular company. The healthier a worker is, the fewer health benefits s/he uses and the more efficiently s/he works. Irrespective of the level of economic development, there has been an increase in the number of years people work. This predisposes to musculoskeletal overload due to longer work at an older age, in both men and women. According to UN reports, in the last 6 years (2009-2015), the number of people over the age of 65 who were still employed has increased by 10% [9].

Physical work in the automotive industry requires workers to perform a lot of repetitive movements, carry heavy objects or maintain an improper body posture for extended periods of time. This makes such workers susceptible to overload changes in the musculoskeletal system. In spite of constant technological development, musculoskeletal overload still constitutes a significant problem. Athletes, health

care employees (nurses and physiotherapists), musicians and cooks are the professional groups that have been studied most extensively in this respect [10-12]. Few studies have concerned production line workers and it is they who deal with biggest loads which affect their musculoskeletal system, and the very nature of their work in large industrial plants requires them to perform repetitive and often non-physiological movements. The aim of our study is to define the most frequently occurring musculoskeletal overloads and analyse the impact of upper extremity overload on overload changes of the lumbar spine in men working in the automotive industry.

## Experimental Procedures

The study was carried out on 111 workers from the automotive industry. Men who were most likely to develop overload changes of the musculoskeletal system were selected for the study on the basis of a biomechanical analysis of video materials showing the workers performing their everyday activities at their workstations. Body posture, repetitiveness and type of movements as well as the necessity to carry heavy items was evaluated. Attention was also paid to the construction of the workstations and the devices and tools operated. The above criteria allowed us to select a study group composed of male assembly and foundry workers aged between 20 and 65. The average age of the subjects was 40 years and their job seniority (as far as the automotive industry is concerned) was 8 years (Table 1).

All employees performed numerous rotational movements of the torso, often with additional loads held in their hands. Precise, repetitive movements of the upper extremities were also seen. These are usually related to the operation of a compressor or a small broom for cleaning moulds or a small hammer for finishing them. Moreover, many men lifted heavy and unwieldy components from the floor onto tables and shelves, performing the entire movement sequence in a non-ergonomic way, overloading their musculoskeletal system. The layout of many workstations was unfavourable, i.e., tools located too high, the presence of steps, and overly large and poorly designed trolleys for transporting manufactured elements.

The selected workers answered a number of survey questions concerning the occurrence of pain.

Table 1. Characteristics of research material.

n = 111	Age (years)	Body height (cm)	Body mass (kg)	BMI	Job seniority (total) (years)	Job seniority (current position) (years)
Average	39,6	178,3	85,8	27,0	18,4	8,4
Minimum	20,0	160,0	56,0	18,2	<1	<1
Maximum	65,0	198,0	124,0	41,4	49,0	20,0

The authors of this work developed a comprehensive survey exclusively for the purpose of questioning the studied group of men. Information on the location, type and intensity (VAS scale) of pain was collected. The subjects precisely described the pain they experienced and classified it in terms of type and frequency. The men also defined their job seniority, type of work and number of repetitive movements performed and the extent to which they were familiar with the rules of work ergonomics. The workers described the physical activity they engaged in both at work and in their free time. They also provided information concerning any injuries they sustained and rehabilitation they underwent. The entire research was conducted by the authors personally in the subjects' place of work. This enabled us to hold additional conversations with the workers and actually see their workstations, which were previously analysed on the basis of photographic and video materials.

## Results and Discussion

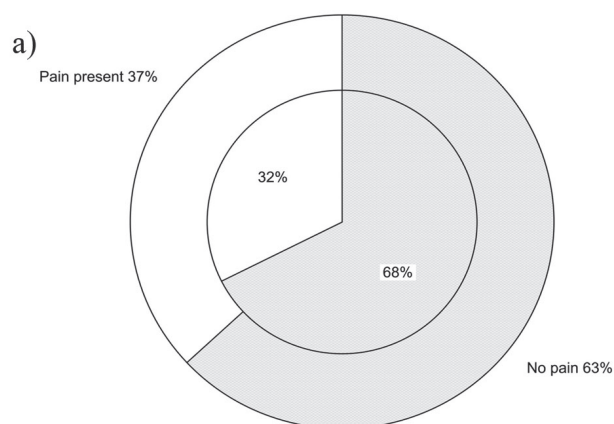
The most important information acquired in the course of the study was the location and intensity of the pain most frequently experienced by workers from the automotive industry.

Lumbar pain was the most frequently reported, by 73% of the subjects. Moreover, more than 1/3 of the subjects experienced lumbar pain several times a week or even daily. The patients also complained of cervical spine pain (37%) and shoulder joint pain (33%). Single individuals suffered from hip joint pain and foot pain.

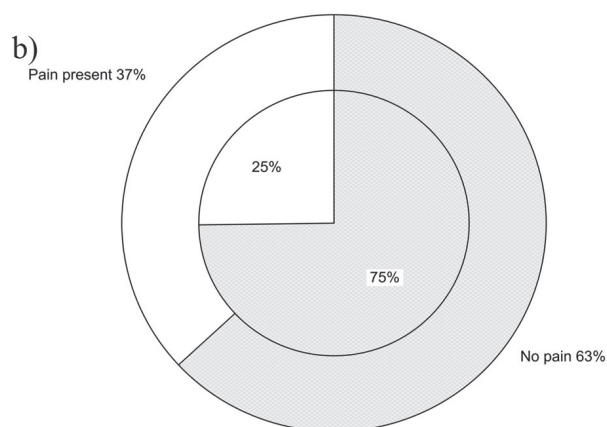
Using the VAS scale, the patients defined their current pain intensity as well as the pain intensity during a pain episode. Analysis of the values of pain intensity during pain episodes suggests that lumbar pain is the most intense. Moreover, the employees found cervical and lumbar pain most troublesome, both during pain episodes and the time of filling in the questionnaire. Numerous instances of pain in the cervical spine prompted the author to look for a relationship between neck pain and age. The men were divided into 3 age groups: 20-34 y.o., 35-49 y.o. and 50+ y.o. In terms of the differences in the pain experienced, there was a tendency toward significance for lumbar pain intensity to increase together with age up to the age of 50 ( $p = 0,09$ ). The strongest pain (6 VAS on average) was experienced by men aged 34-49. A slight decrease in the intensity of pain, down to an average value of 5.5 points on the VAS scale, was observed among men over the age of 50.

The patients also specified the frequency of pain. The following ranges were defined: several times a year, a month, a week or daily. With the use of the ANOVA analysis of variance, it was established that there is no relationship between the frequency and intensity of pain (VAS scale) in the lumbar spine

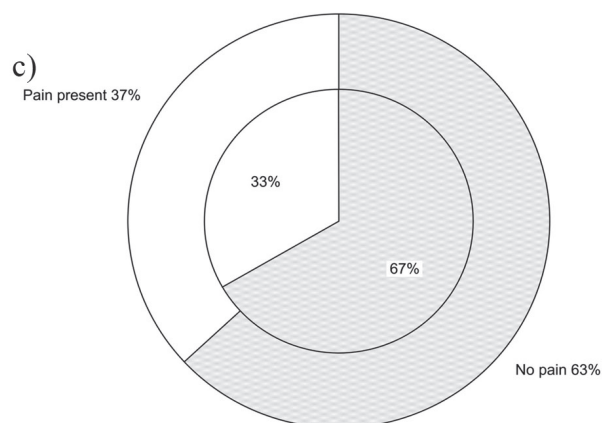
( $p = 0.39$ ). However, attention should be paid to the fact that the strength of pain defined in points on the VAS scale increases together with the increase in the frequency of pain. The strongest pain – 6.5 points on



Outer circle - pain present in the cervical spine  
Inner circle - pain present in the shoulder



Outer circle - pain present in the cervical spine  
Inner circle - pain present in the elbow



Outer circle - pain present in the cervical spine  
Inner circle - pain present in the wrist

Fig. 1. Percentage distribution of co-occurrence of cervical spine pain and pain in the subsequent joints of the upper extremity: a) presence of pain in the shoulders and cervical spine, b) presence of pain in the elbow joints and cervical spine, c) presence of pain in the wrist and cervical spine.

average – was experienced by workers who experienced pain on a daily basis.

Considering the mechanism of developing overload changes, an attempt was made to establish relationships between the occurrence of pain in particular parts of the spine. It is known that changes in spine curvature (e.g., reduction of lumbar lordosis) have a negative impact on thoracic kyphosis and cervical lordosis [13]. Unfortunately, the performed analysis did not demonstrate any significant relationships between the occurrence of pain in the lumbar and cervical spine. The development of pathological overload changes in the cervical spine is related to upper extremity joint pain. Shoulder joint pain was reported by 33% of the studied men. The same percentage reported wrist pain, while elbow pain was reported by 1/4 of the respondents. The chi-square test was used to determine whether there is a relationship between pain in the cervical spine and subsequent joints of upper extremities (Fig. 1a-c). There is a statistically significant difference ( $p = 0.03$ ) between individuals who experience pain in the cervical spine and wrist and the group of men who did not report such pain.

The application of the VAS scale allowed us to search for correlations between the intensity of pain in the spine and the joints of upper extremities. Given the mechanism of transferring load, it was expected that reporting spine pain would be related to the intensity of upper extremity joint pain. Analysis of pain intensity (VAS scale) of the cervical and lumbar spine and the value expressed in points of the experienced pain in the shoulder, elbow and wrist yielded very interesting results (Fig. 2a-h). It turns out that there is a statistically significant correlation between the pain in shoulder joints and cervical spine pain. An increase in the intensity of pain in the cervical spine entails an increase in the intensity of pain in the shoulder joints reported by workers of the automotive industry. Moreover, there is also a correlation between the intensity of pain in the elbow and wrist joints on the one hand and cervical spine pain on the other hand. The stronger the cervical spine pain reported by workers, the higher the estimated values of pain in the elbow joints and, analogically - wrist joints. It was also observed that an increase in the intensity of shoulder pain was accompanied by an increase in the intensity of pain in the elbow joints. There is a similar statistically significant correlation in the case of lumbar and cervical spine. This may be indicative of the progressive nature of overload changes of the musculoskeletal system. All the presented Spearman's rank correlations are statistically significant (except Fig. 2c) and were calculated using Statistica software. From an engineering point of view, Spearman's rank correlations referred to in this paper are more focused on concordance of the ranking, while Pearson's correlations are focused on values. In further studies, a copula model should be used, as it can describe different types of dependencies that include association concepts such as concordance, linear correlation and

other related measures [14-16]. Copula is therefore much more flexible than traditional concepts (Kendall, Spearman or Pearson) to characterize dependencies and includes these concepts. Copula models provide a very flexible way to model multivariate dependencies. Given its high usability, it has already been used in many different applications within the scope of engineering, reliability engineering [17], and economics [18].

Pain intensity in the subsequent upper extremity joints (VAS scale) was also correlated with the number of repetitive movements performed during one working day. Calculations performed for the shoulder joint, elbow joint and wrist joint did not bear any relationship to the number of repetitive movements performed. It should be taken into account that both parameters referred to above (intensity of pain and number of movements) were estimated by the men. They found it problematic to define the actual number of repetitive movement patterns performed during one working day. The large variability of results may suggest that workers on a particular position were unable to precisely define the number of repetitive activities they performed. The repetitive nature of the work, based on established movement patterns, was clearly visible on the video materials which were analysed during the first stage of the study.

Studies show that lumbar pain affects 85% of adult society [1]. In European countries such as Greece, Slovenia and Poland, as many as 49% of professionally active people report back pain [19]. Research confirms these statistics and shows that lumbar pain is the most frequently reported ailment among physical workers. There are many reasons for the constant increase in the percentage of people complaining of spine pain. These include insufficient physical activity, poor education, lack of knowledge on work ergonomics and bad habits [20]. The average intensity of lower back pain during pain episodes in physical workers was  $5.8 \pm 2.2$  on the VAS scale. For comparison, researchers from California were studying a similar group and their average pain intensity was  $4.2 \pm 1.3$  points on the VAS scale [21]. Last year Kruger performed an analogous study on full-time workers with an average pain intensity of  $5.4 \pm 1.8$  [22]. In all the publications referred to above, research groups comprised individuals who experienced pain in the lumbar spine for at least three months. According to such reports, the average value of lumbar pain intensity among physical workers from the automotive industry seems to be high. Moreover, reporting repeated pain episodes may be indicative of chronic overload changes.

Given the mechanism of compensation which consists in transferring load, the co-occurrence of lumbar and cervical pain was analysed. Dysfunctions of the lower back undoubtedly have an impact on changes in the curvature of the cervical spine [13]. It has been proven that rehabilitation of the cervical spine has a positive impact on the biomechanics of the lumbar spine [23]. Both cervical and lumbar pain were reported

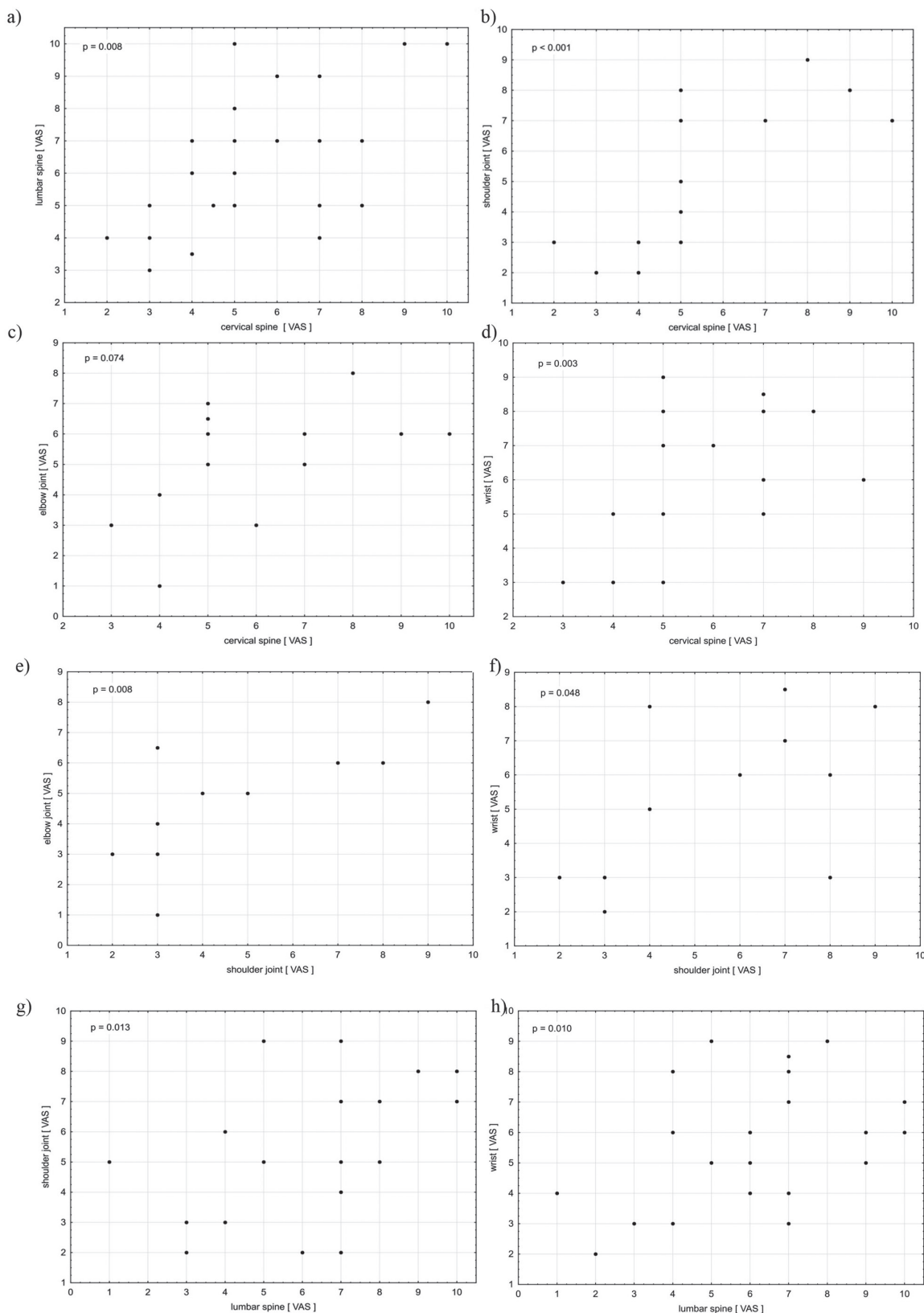


Fig. 2. Scatter diagrams: a) correlation between the intensity of lumbar spine pain in relation to the intensity of cervical spine pain, b) correlation between the intensity of shoulder joint pain in relation to the intensity of cervical spine pain, c) correlation between the intensity of elbow joint pain in relation to the intensity of cervical spine pain, d) correlation between the intensity of wrist pain in relation to the intensity of cervical spine pain, e) correlation between the intensity of elbow joint pain in relation to the intensity of shoulder joint pain, f) correlation between the intensity of wrist pain in relation to the intensity of shoulder joint pain, g) correlation between the intensity of shoulder joint pain in relation to the intensity of lumbar spine pain, h) correlation between the intensity of wrist pain in relation to the intensity of lumbar spine pain.

by 25% of the studied men. For comparison, among 1023 patients suffering from lumbar pain who were studied by Chinese researchers, as many as half of them also experienced cervical pain [24], which may in turn cause pain in the shoulder joints.

The existing correlation between the intensity of lumbar and cervical pain and pain in the shoulder joints may be indicative of progressive overload changes in the musculoskeletal system. Degenerative changes in the cervical spine may cause pain in the upper extremity joints. Radiculopathy, i.e., compression of nerve roots located in the cervical spine, may result in pain, tingling or numbness at various levels of the upper extremities. The nerves originating in the cervical spine form the shoulder plexus and then innervate the entire upper extremity. Degenerative changes of this part of the spine are related to the presence of hernia of the nucleus pulposus or osteophytes, which occlude the intervertebral foramina and cause the compression of nerve roots. The location and intensity of pain depend on the degree of nerve root damage; progressive pathological changes may lead to the loss of the gripping function of the hand and sensory disturbances [25-27]. Asserting that the studied men perform many non-physiological and repetitive movements prompts us to analyse the existing correlation from the other side as well. Repetitive activities and working with an additionally loaded upper extremity is conducive to the occurrence of pathological changes in the shoulder joints. Frequently occurring shoulder constriction and the accompanying pain lead to changes in the mechanics of the spine and an unfavourable body posture assumed while working. The known mechanism of transferring load may result in degenerative changes in the cervical spine joints as a result of primary ailments located in the shoulder joint [28].

In the future, the occurrence of correlations between cervical spine pain and shoulder joint pain (and others referred to in the paper) could be used to predict subsequent locations of pain in a particular workplace. However, despite the same tasks and conditions in a particular workplace, body position also constitutes a factor in predicting the occurrence of pain. This is an individual factor that depends on the knowledge of ergonomic principles and the basics of biomechanics that translate into the correct body position for a given activity.

Changes in the intensity of pain depending on age were also observed. The youngest group (20-34 y.o.) reported the lowest pain intensity. The strongest pain was experienced by men aged 35-49, which may be indicative of progressive pathological changes occurring in the spine. The strength of lumbar pain is related to changes occurring in the intervertebral discs. Degeneration, dehydration and fibrosis of the intervertebral discs occur with age [27]. However, this process takes place significantly faster if the spine is improperly or excessively loaded. Performing repetitive movements, carrying objects in an improper way or

assuming an unfavourable body posture while working lead to the accumulation of loads on the small surface of the intervertebral discs [2]. Shear forces have the most negative impact because they lead to protrusion, damage of the annulus fibrosus and incorrect transfer of load by the nucleus pulposus. Fibrosis is the last stage of the degenerative disease of the intervertebral discs, which often results in a reduction of pain and is frequently accompanied by vertebral canal stenosis or reduced mobility [25]. Reduced pain in the case of individuals over the age of 50 may be therefore indicative of the occurrence of degenerative changes resulting from chronic overload disease. The concurrent increase in the frequency and intensity of pain reported by the workers (VAS scale) is also indicative of chronic pathological changes.

The lack of a relationship between the intensity of pain and the number of repetitive wrist movements performed by the workers is probably due to the workers' incorrect estimates. The number of repeated wrist movements they reported was lower and usually constituted the number of components processed during one working day. They were not aware that cleaning a single opening with the use of a compressor, for example, requires several dozen circular movements of the wrist. Assuming that one component contains several openings and a worker processes several hundred components during one working day, the number should be one order of magnitude higher than that reported by the workers. Analysis of the video and photographic materials clearly shows that physical workers are in the risk group for overload disease due to the continuous performance of repetitive movements.

Pain statistics may vary from generation to generation. Today some production lines in the automotive industry are fully automated, which completely changes the nature of the operator's work [29]. However, in automotive factories, requirements in terms of precision in particular workplaces mean that the workers employed here perform all tasks manually. In this case, one of the main objectives is to minimize the pain experienced by the workers while maintaining high productivity of the production lines. Therefore, supporting operators with an exoskeleton is a potential solution for improving the ergonomics of workplaces that require repeated movements and handling heavy objects at work while respecting industrial constraints. In various industries, manual workers experience musculoskeletal disorders (MSDs). The use of robotic devices, such as exoskeletons, may therefore be an appropriate solution for reducing the pain experienced by workers and prevent MSDs [30].

## Conclusions

Results of the survey and their further analysis confirmed that in men employed in the automotive



industry there is a statistically significant relationship between lumbar spine pain on the one hand and cervical pain in subsequent joints of the upper extremity on the other hand. The correlation between the incidence of pain in specific parts of the body can also be found in groups of workers in other industries [11-12]. The incidence of pain correlation in the automotive industry confirms the presence of workers in the MSD risk group, especially as they are exposed to a number of risk factors for musculoskeletal disorders. It is necessary to conduct specific biochemical research in order to plan therapy and, most importantly, prophylactic measures preventing the occurrence of overload disease.

### Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

### References

- EU-OSHA OSH in figures [Internet]: Work-related musculoskeletal disorders in the EU - Facts and figures. Luxembourg 2010 [Cited: 12.12.2018]. Address: <https://osha.europa.eu>.
- CHIASSEON M., IMBEAU D., MAJOR J., AUBRY K., DELISLE A. Influence of musculoskeletal pain on workers' ergonomic risk-factor assessments. *Appl Ergon.* **49**, 1, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.12.011>.
- PEPPOLONI L., FILIPPESCHI A., RUFFALDI E., AVIZZANO C.A. A novel wearable system for the online assessment of risk for biomechanical load in repetitive efforts. *Int J Ind Ergon.* **52**, 1, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.07.002>.
- PUNNET L. Musculoskeletal disorders and occupational exposures: How should we judge the evidence concerning the causal association? *Scand J Public Health.* **42** (13), 49, 2014. <https://doi.org/10.1177%2F1403494813517324>.
- PARIDAA R., RAYB P.K. Biomechanical modelling and evaluation of construction jobs for performance improvement. *Work.* **41** (1), 5959, 2012.
- KARPIESIUŁ. Automotive Industry Report. Warsaw: Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego, Poland, 2015.
- STEVENSON J.M. Looking forward by looking back: Helping to reduce work-related musculoskeletal disorders. *Work.* **47** (1), 137, 2014. <https://doi.org/10.3233/WOR-131691>.
- MACDONALD W., OAKMAN J. Requirements for more effective prevention of work-related musculoskeletal disorders. *BMC Musculoskeletal Dis.* **16**, 293, 2013. <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0750-8>.
- Department of Economic and Social Affairs Population Division. World Population Ageing 2015. New York, 2015. No. ST/ESA/SER.A/390.
- MATTHIAS J., JORDAN C., THEILMEIER A., WORTMANN N., KUHN S., NIENHAUS A., LUTTMANN A. Lumbar-Load Analysis of Manual Patient-Handling Activities for Biomechanical Overload Prevention Among Healthcare Workers. *Ann Occup Hyg.* **57** (4), 528, 2012. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mes088>.
- GALUSZKA R., GALUSZKA G., MIZIAŁEK S. Overload the musculoskeletal system in farmers-growers as a factor affecting the welfare of the. *Zdrowie i dobrostan.* **1**, 113, 2015.
- LINDEGÅRD A., WAHLSTRÖM J., HAGBERG M., VILHELMSSON R., TOOMINGAS A., TORNQVIST E.W. Perceived exertion, comfort and working technique in professional computer users and associations with the incidence of neck and upper extremity symptoms. *BMC Musculoskeletal Dis.* **13** (38), 2012. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-38>.
- CADAR I.D., POP L.V. Correlations between cervical spine posture and low back pain. *HVM Bioflux.* **7** (3), 179, 2015.
- ZHANG Y., GOMES, A.T., BEER M., NEUMANN I., NACKENHORST U., KIM C.W. Reliability analysis with consideration of asymmetrically dependent variables: discussion and application to geotechnical examples. *Reliab Eng Syst Safe.* **185**, 261, 2019.
- ZHANG Y., KIM C.W., BEER M., DAI H., DAI S., CARLOS G. Modeling multivariate ocean data using asymmetric copulas. *Coast Eng.* **135**, 91, 2018.
- ZHANG Y. Investigating dependencies among oil price and tanker market variables by copula-based multivariate models. *Energy.* **161**, 435, 2018.
- HE L., LU Z., LI X. Failure-mode importance measures in structural system with multiple failure modes and its estimation using copula. *Reliab Eng Syst Saf.* **174**, 53, 2018.
- FAN Y., PATTON A.J. Copulas in econometrics. *Annu Rev Econ.* **6** (1), 179, 2014.
- PAWŁOSKA Z., POPIELAWSKA A. Work-related musculoskeletal disorders - Facts and figures - Poland. Luxembourg : European Agency for Safety and Health at Work, 2010. <https://doi.org/10.2802/10952>.
- NEUPANE S., MIRANDA H., VIRTANEN P., SIUKOLA A., NYGÅRD C.H. Do physical or psychosocial factors at work predict multi-site musculoskeletal pain? A 4-year follow-up study in an industrial population. *Int Arch Occup Environ Health.* **86** (5), 581, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00420-012-0792-2>.
- STIEGLITZ D.D., VINSON D.R., HAMPTON M.C. Equipment-based Pilates reduces work-related chronic low back pain and disability: A pilot study. *J Bodyw Mov Ther.* **20** (1), 74, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2015.06.006>.
- KRÜGER P.E., BILLSON J.H., WOOD P.S., DO TOIT P.J. The effect of chronic low back pain on daily living and fear-avoidance beliefs in working adults. *AJPHRD.* **21** (1:2), 300, 2015.
- KHAN N.S., WARKHEDKAR M.R., SHYAM K.A. Analysis of Hounsfield Unit of Human Bones for Strength Evaluation. *Procedia Mater Sci.* **6**, 512, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.065>.
- SHENG-YUN L., LETU S., JIAN C., MAMUTI M., JUNHUI L., ZHI S., CHONG-YAN W., SHUNWU F., ZHAO F. Comparison of Modic Changes in the Lumbar and Cervical Spine, in 3167 Patients with and without Spinal Pain. *PLoS One.* **9** (12), 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114993>.
- DZIAK A. Spine pains and dysfunctions. *Medicina Sportiva*, Krakow, 2007.
- BOBER T., ZAWADZKI J. Biomechanics of the human musculoskeletal system. BK, Wrocław, 2001.
- KRAEMER J. Intervertebral disc diseases: Causes, diagnosis, treatment, and prophylaxis. Elsevier Urban & Partner, Wrocław, 2013.

28. IQBAL Z., ALGHADIR A. Frequency of work-related musculoskeletal disorders among physiotherapists. *Medycyna Pracy*. **66** (4), 459, **2015**. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00142>.
29. LABBUS I., SCHMIDT C., DÉR A., HERRMANN C., THIEDE S. Automated production data integration for energy-oriented process chain design. *Procedia CIRP*. **72** (1), 551, **2018**.
30. SYLLA N., BONNET V., COLLEDANI F., FRAISSE P. Ergonomic contribution of ABLE exoskeleton in automotive industry. *Int J Ind Ergonom*. **44** (4), 475, **2014**.



# The use of electromyography and kinematic measurements of the lumbar spine during ergonomic intervention among workers of the production line of a foundry

Anna Błaszcyk and Małgorzata B. Ogurkowska

Department of Biomechanics, Poznan University of Physical Education, Poznan, Poland

## ABSTRACT

**Purpose.** Workers who perform repetitive movements are exposed to many risk factors leading to the occurrence of lumbar back pain. The aim of the research was to answer the question whether the ergonomic instruction conducted by a physiotherapist would change the tested range of motion of the segments of lumbar spine and the symmetry of the work of the torso and upper limbs muscles during work performed by foundry employees.

**Methods.** The study included 12 foundry production line workers with musculoskeletal pain. The workstation was built in the laboratory that perfectly simulates work on the production line. The workers performed two activities from their daily work, i.e. transferring and moving a casting. They were then given ergonomic instruction by a physiotherapist and performed the assigned tasks again. During the activities, the electromyographic signal from five muscles was recorded in terms of symmetry of their work. The maximum angular ranges of the motor segments of the lumbar spine were measured using gyroscopes.

**Results.** After the ergonomic instruction, the contralateral imbalance of muscle activity decreased statistically significantly during the first phase ( $p = 0.0004$ ), second phase ( $p = 0.0002$ ) and the third phase ( $p = 0.0069$ ) of transferring the casting. While moving the casting, only erector spinae showed statistically significantly ( $p = 0.0131$ ) more symmetrical work after the ergonomic instruction. During the transfer of the casting, statistically significantly lower values of the ranges of motion between the segments were obtained after carrying out the ergonomic instruction for the left ( $p = 0.0231$ ) and right ( $p = 0.0032$ ) lateral flexion. The ranges of movement between the segments differed statistically significantly for the flexion ( $p = 0.0117$ ), extension ( $p = 0.0469$ ) and left ( $p = 0.0031$ ) and right lateral flexion movements ( $p = 0.0012$ ).

**Conclusion.** Conducting ergonomic instruction consisting in teaching the correct performance of a movement task reduced the contralateral imbalance of muscle activity and changes the ranges of movement of L1-S1 segments. The task of optimizing the load on the musculoskeletal system, including the lumbar spine, should be carried out by means of appropriate ergonomic instruction and multi-pronged measures, including analysis of the health of employees, their working environment and physical activity outside the workplace. Electromyography and measurements of the range of movement of the lumbar spine appear to be good tools for the evaluation of workplace ergonomics.

Submitted 20 August 2021  
Accepted 15 February 2022  
Published 18 March 2022

Corresponding author  
Anna Błaszcyk,  
ablaszczyk@awf.poznan.pl

Academic editor  
Emiliano Cè

Additional Information and  
Declarations can be found on  
page 14

DOI 10.7717/peerj.13072

© Copyright  
2022 Błaszcyk and Ogurkowska

Distributed under  
Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

**Subjects** Kinesiology, Biomechanics, Rehabilitation

**Keywords** Biomechanics, Musculoskeletal disorders, Occupational ergonomics, Ergonomic intervention, Spine kinematics

## INTRODUCTION

Musculoskeletal disorders (MSDs) are the most common condition in Europe (EU-OSHA). Risk factors such as performing repetitive movements, high production standards, carrying heavy objects, spine flexion and rotation are generally considered the main cause of MSDs among workers who perform hazardous manual handling tasks (*Andersen et al., 2016; Andersen et al., 2017; Sterud & Tynes, 2013; Matsudaira et al., 2012*). Workers performing manual lifting often excessively load the lower back, thereby putting themselves at risk of developing musculoskeletal disorders and spinal injuries (*Jakobsen et al., 2018*). Lower back pain (LBP) is the most common type of pain reported by workers in the automotive industry (*Błaszczuk et al., 2020*). Work-related musculoskeletal disorders also have direct negative economic consequences such as temporary disability/absence from work or early retirement (*Andersen et al., 2012; Bevan et al., 2009*).

Elimination of harmful factors prevents musculoskeletal disorders and has a positive impact on employees' health (*Macdonald & Oakman, 2013*). This can be achieved through ergonomic interventions, which have a positive impact on: alleviating musculoskeletal pain, reducing the number of injuries, workers' compensation claims and sickness absence days (*Rivilis et al., 2008*). Ergonomic interventions are defined as changes directed towards the improvement of a task, workstation, or work system from the ergonomic perspective (*Rodriguez, 2018*). A comprehensive approach to ergonomic interventions is the best solution to reduce the incidence of work-related MSDs (*Dennerlein, 2017*). Ergonomic interventions involve adjusting a workers' environment, behavior, and other long-term educational approaches to treat and prevent further damage due to WMSD. A properly conducted ergonomic intervention reduces sickness absence related to upper limb pain (*Shiri et al., 2011*). Studies of this type are often conducted on office workers due to their static working position (*Bazazan et al., 2019; Konarska et al., 2005*); however, production line workers are also a large group of people affected by risk factors for work-related MSD. It should be noted that the employees of the foundry's production line, due to the nature of their work, are subjected to dynamic loads. For the human musculoskeletal system, excessive static loads are unfavorable, but the dynamic ones are much worse (*Kraemer, 2013*). During a bending movement, there is a resultant load occurs from the torque of gravity of the trunk, upper limbs and head and in addition a torque of force due to the moment of inertia and angular acceleration of the trunk. It is this resultant torque of force that is the primary element in the pathobiomechanism of the sudden onset of lumbar spine pain during movement (*Kraemer, 2013*). Moreover, performing the same movement several hundred times a day is a risk factor for the occurrence of musculoskeletal disorders, however, performing the given movement repeatedly, and additionally not in accordance with the principles of ergonomics, will significantly aggravate the occurrence of ailments (*Andersen et al., 2016; Andersen et al., 2017*). The foundry's production line

workers move and put away heavy objects (10 kg), bending their spine up to 300 times a day. Additionally, they perform manual activities and torsional movements of the spine (Błaszczuk *et al.*, 2020).

The biomechanical loads experienced in manual lifting and carrying loads depend on individual human preferences, in particular, the lifting style (Faber, Kingma & Dieën 2011; Hwang, Kim & Kim, 2009). Flexion-extension moments occurring at the L5-S1 level of the spine are significantly lower with the lower limb lifting technique than with the freestyle technique (Buseck *et al.*, 1988). Additionally, this moment depends on the force arm, *i.e.* the distance at which the transferred load is held (Panjabi *et al.*, 1989). The expressions "holding the carried object as close to the body as possible, maintaining correct curvature of the spine while bending, engaging the lower limbs when bending" used during the ergonomic intervention have been defined as understandable to the study participants (Overton *et al.*, 2016, Abdoli-Eramaki *et al.*, 2019).

An ergonomic intervention may include physical therapy instruction, guidance on the use of tools, or redesign of workplaces (Rivilis *et al.*, 2008; Shiri *et al.*, 2011). Motion sensors such as accelerometers, goniometers and inclinometers provide valuable information on the range of motion and inclination of body segments (Villumsen *et al.* 2015). Consequently, they can be used as a helpful tool during physiotherapeutic or ergonomic training. Surface electromyography can be used to monitor the degree of muscle activation before and after ergonomic instruction. Individuals with LBP show asymmetries or decreases in electromyographic signal (sEMG) compared to healthy individuals (Reger *et al.*, 2006). A decrease in contralateral imbalances in muscle activity, therefore, may result in a decrease in lower back pain. When assessing the degree of muscle activation, it should be remembered that the use of surface electrodes may result in reading electrical potential from the area under study which does not have to equal the activation of the entire muscle (Vigotsky *et al.*, 2017; Vieira & Botter, 2021).

Workers who perform repetitive movements are exposed to many risk factors leading to low back pain. Therefore, the aim of the research was to answer the question whether the ergonomic instruction conducted by a physiotherapist would change the tested range of motion of the segments of lumbar spine and the symmetry of the work of the torso and upper limbs muscles during work performed by foundry employees. Researchers hypothesize that following ergonomic instruction the angular range of motion in the lumbar spine will decrease, as will the difference in contralateral imbalances in electromyographic muscles activity.

## MATERIALS & METHODS

### Participants

The research group consisted of 12 men (Table 1) who were workers at two production line work stations in the foundry of automotive industry. The study was approved by the Bioethics Committee of the Poznan University of Medical Sciences (no. 561/18). All subjects expressed informed consent in writing to participate in the study. All procedures were conducted according to the 1964 Declaration of Helsinki. All subjects filled in a

**Table 1** Anthropometric characteristics of the studied cohort.

Variable	Mean $\pm$ SD
Age (years)	36.8 $\pm$ 8.3
Body height (cm)	180.1 $\pm$ 5.4
Body mass (kg)	92.2 $\pm$ 11.4
Job seniority (years)	8.5 $\pm$ 3.8

**Table 2** Lumbar segment where pathological changes occurred in the examined workers as diagnosed by a radiologist on the basis of a tomographic examination.

Spinal motion segment	Examined workers [%]
L1/L2	0
L2/L3	0
L3/L4	25
L4/L5	33
L5/S1	75

questionnaire (Błaszczuk *et al.*, 2020) and reported musculoskeletal pain, especially in the lumbar spine (Table 2). The seniority of each subject at a particular position was at least 5 years (Table 1).

Workers who reported pain and in whom pathological changes in the lumbar spine were suspected underwent lumbar spine tomography evaluated by a radiologist.

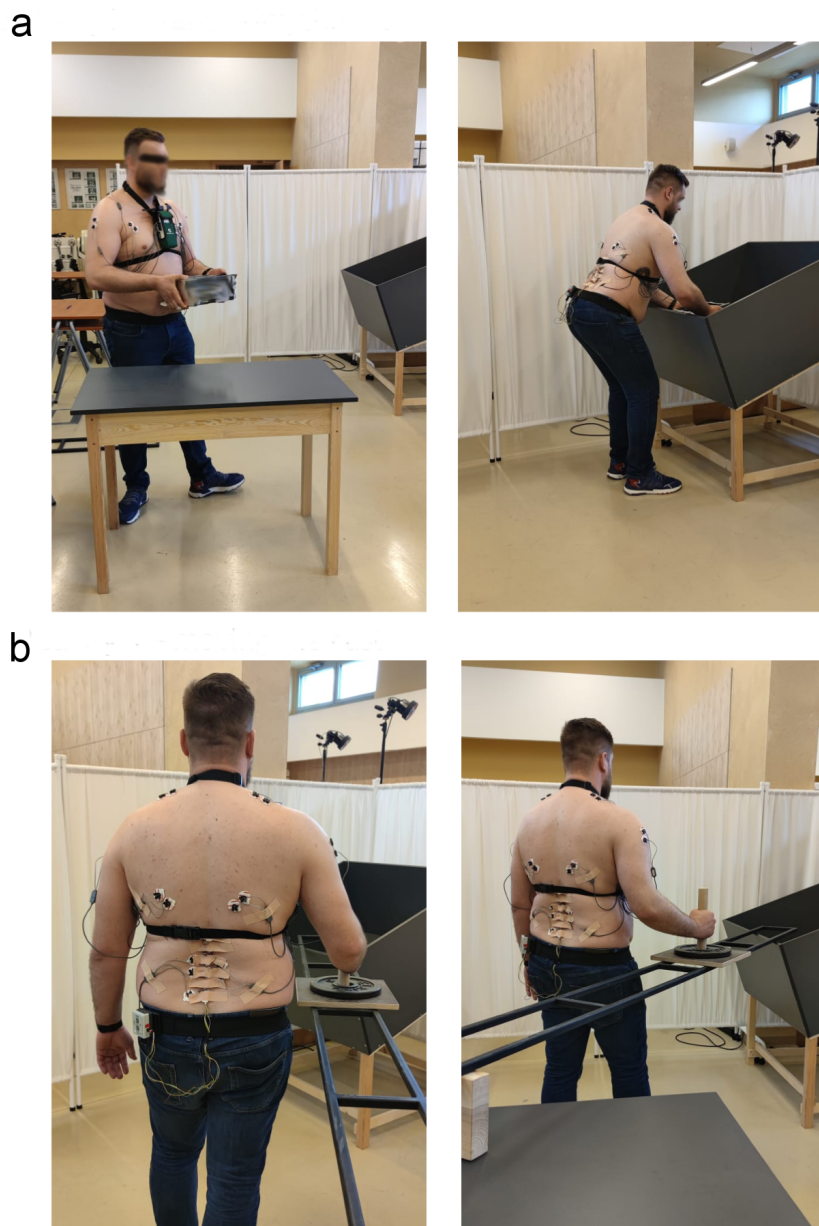
Selected work stations required the workers to perform repetitive motion sequences (about 350/day). The workers carry heavy objects (10–12 kg), rotate and bend the spine while holding the load in their hands and also move the object using a special handle. Two selected work stations were reproduced under laboratory conditions (Fig. 1). It was not possible to carry out measurements in an industrial plant on the production line due to the presence of an electromagnetic field that interfered with the signal transmission of EMG measuring devices.

The work at the first work station consisted in transferring the original casting weighing 10 kg from the table into a box (Fig. 1A). It consisted of three parts, namely lifting the casting from the table at a height of 0.8 m, carrying it towards the box and then placing it in the box, the bottom of which was 0.5 m above the floor.

At the second work station, the men moved a weight, which imitated the carrying device, over a distance of 3 m (Fig. 1B). The force which had to be applied to move the item was measured with a dynamometer at the original work station and reproduced in the laboratory. The handle for moving the weight was at a height of 1.20 m.

### Electromyography

The surface EMG signal was recorded using the Telemyo 2400T G2 device (Noraxon, USA). Electrodes (Ag/AgCl SORIMEX, Poland, diameter: 1 cm) were placed on previously prepared skin (cleaned, shaved, degreased with alcohol) according to SENIAM guidelines (Cram, Kasman & Holtz, 1998; Hermens *et al.*, 2000; Kasman *et al.*, 1998). Signals from the



**Figure 1** Work station for: (A) transferring the cast (activity I), (B) moving the cast (activity II).

[Full-size](#)  [DOI: 10.7717/peerj.13072/fig-1](https://doi.org/10.7717/peerj.13072/fig-1)

following 5 muscles were recorded bilaterally: erector spinae (ES), latissimus dorsi (LD), lower trapezius (LT), middle deltoideus (MD) and pectoralis major (PM). The examined muscles were identified in a pilot study based on a survey (Błaszczuk *et al.* 2020). The muscles of the back and the shoulder girdle were selected as the areas of the body which were described by workers as the most painful. For the EMG signal, 1,000 Hz sampling and filtering using a bandwidth of 10–500 Hz were applied (Merletti, 1999). The reference electrode was placed on the posterior superior iliac spine.

MyoResearch XP Master Edition software (Noraxon, USA) was used to process the signal. Artifacts were removed from the raw signal which then underwent full wave rectification and smoothing with the use of a root mean square (RMS) algorithm with a 50 ms window to form an amplitude estimation (Clancy, Morin & Merletti, 2002). Subsequently, the signal was normalised to the maximum voluntary contraction (% MVC) and the highest averaged EMG signal from the middle 1 second was used for analysis. Isometric MVC for all the muscles was determined in static conditions (Burden, 2010; Burden, Trew & Baltzopoulos, 2003; DeLuca 1997; Andreia & SousaJoao Manuel, 2012). The subject pressed with the corresponding body part with maximum force against a resistance shaft three times, maintaining maximum contraction for 3 seconds.

### Gyroscopes

The ZRP-3D6-BC (purchased from JBA Zb. Staniak) system was used to measure the spinal kinematics. The set was equipped with a recorder with six triaxial gyroscopes.

The test consisted in measuring the angular velocity and the angles traced by the individual motor segments of the vertebrae using the above mentioned system of triaxial sensors attached to the spinous processes of the five lumbar vertebrae and the sacral bone (L1-S1). The producer of the gyro systems in the technical specification gives a maximum linearity error of less than 1%. However, the accuracy of the measurement and calculation of the angle with this gyroscope is  $\pm 1$  degree. The measurement results were transmitted on-line during movement, directly to a computer *via* Bluetooth.

Using the CPG1v0 system software, the measured triaxial angular velocities were analysed to determine the maximum ranges of motion of the lumbar spine motor segments, *i.e.* L1/L2, L2/L3, L3/L4, L4/L5, L5/S1 in the sagittal and frontal plane during the two tested activities.

### Experimental protocol

The workers were given unlimited time to familiarise themselves with the test stand. They were then asked to transfer the casting from the table to the box on stand no. I (Fig. 1A) three times in the same way they do each day at work. Next, each worker received the same individual ergonomic instruction from one physiotherapist. The instruction consisted in communicating three pieces of information: holding the carried object as close to the body as possible, maintaining correct curvature of the spine while bending, engaging the lower limbs when bending. The worker performed the activity several times, introducing changes to the movement according to the instruction and following the physiotherapist's comments. When, in the opinion of the instructor, he was able to perform a particular activity correctly, *i.e.* in compliance with the introduced ergonomic principles, he transferred the object three more times. The activity of transferring the casting was then divided into three phases using video recording (with the use of MyoResearch XP Master Edition):

- first phase of the movement –lifting the casting;
- second phase of the movement –carrying the casting;
- third phase of the movement –putting the casting down.



At stand no. II (Fig. 1B), the worker was asked to move an element along the rail three times in his own way, as he does every day at work. Then, the worker was given ergonomic instructions, which consisted in: assuming an appropriate position before work, so as not to perform rotation which additionally loads the motor system, and maintaining correct curvature of the spine while moving the element. Then, the employee practised the new way of performing the task several times, and when he could perform it as he was taught by physiotherapist (in compliance with the introduced ergonomic principles), three movement attempts were recorded. The EMG signal and angular values recorded with the ZRP-3D6-BC system from the three attempts were averaged for each of the two activities.

### Statistical calculations

Statistical calculations were performed using TIBCO Software Inc. (2017) Statistica (data analysis software system), version 13. For all electromyographic and kinematic variables, the reliability of the three measurements was calculated using the interclass correlation coefficient (ICC<sub>3,k</sub>) (95% confidence interval). Normality of data distribution was verified using the Shapiro-Wilk test. Differences in contralateral imbalances in muscle activity (ES, LD, LT, MD, PM) in time (before and after performing ergonomic instruction) and the differences in the range of motion between segments of the spine (L1/L2, L2/L3, L3/L4, L4/L5, L5/S1) in time (before and after performing ergonomic instruction) were calculated using multivariate analysis of variance with repeated measures (ANOVA 5x2). In the case of statistically significant differences between segments or muscles in time, Tukey's post-hoc test (HSD) were performed. The level of statistical significance was set at  $p \leq 0.05$ .

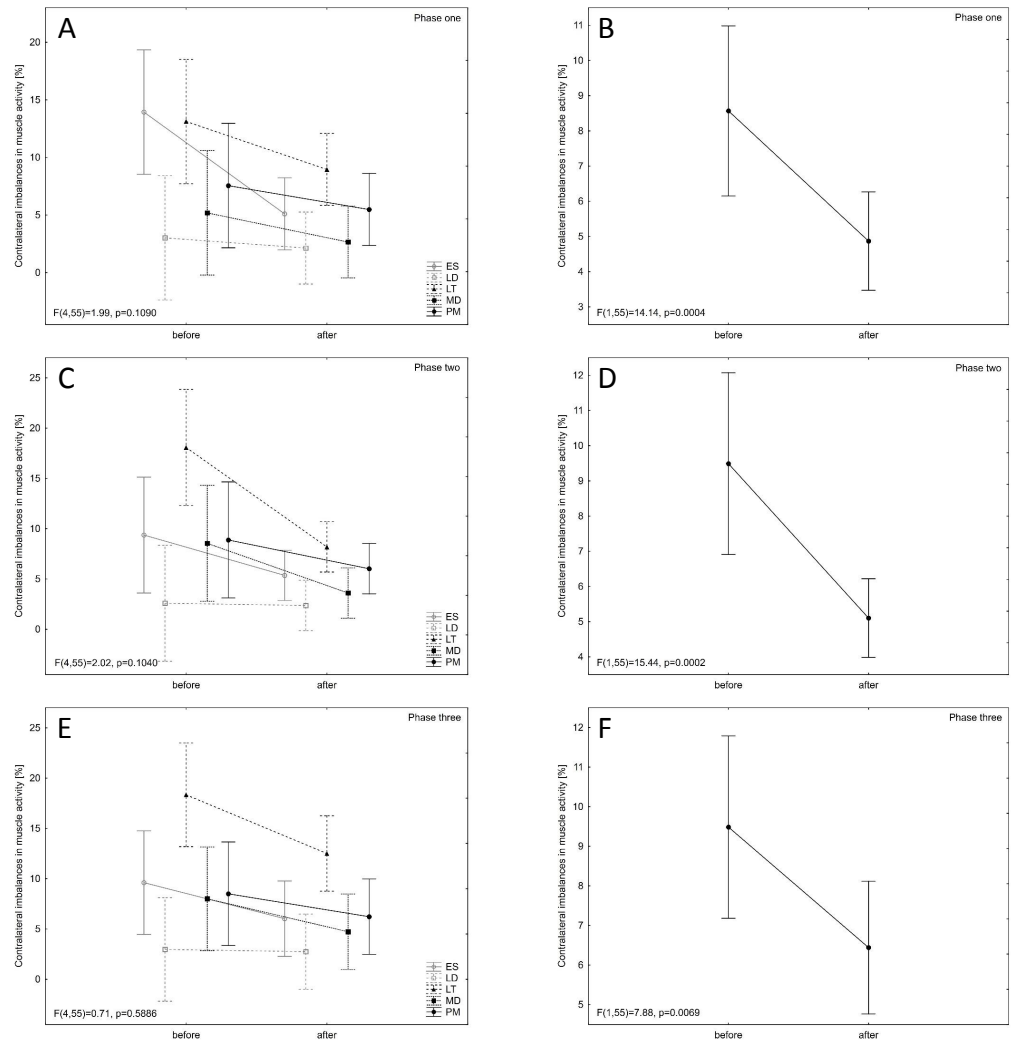
## RESULTS

In order to investigate the inter-day reliability of the electromyographic measurements of individual muscles and kinematic measurements of vertebral motion for the activities of moving and transferring objects, an interclass correlation coefficient ICC(3,k) with a two-way mixed effect of consistency of multiple raters of the measurements was calculated (Koo & Li, 2016, Brandt et al., 2017). The ICC test-retest reliability level is good or excellent, with the values ranging from 0.769 to 0.999 ( $p < 0.001$ ).

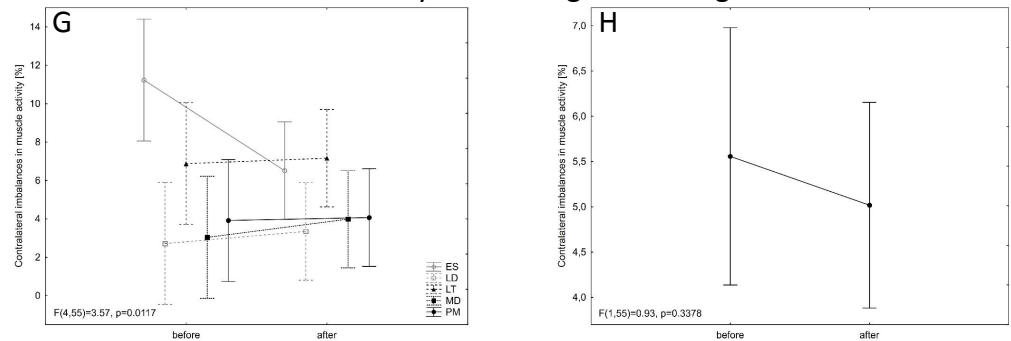
### Emg analysis

The objective of the EMG test was to check whether the difference in the electrical activity of a given muscle (right *versus* left side) was lower after the ergonomic instruction. It should be noted that a decrease in contralateral imbalances in muscle EMG was observed for all muscles during activity I (Figs. 2A–2F). After the ergonomic instruction, the contralateral imbalance of muscle activity decreased statistically significantly during the first phase ( $p = 0.0004$ ) and in the second phase ( $p = 0.0002$ ) and also in the third phase ( $p = 0.0069$ ) (Figs. 2A–2F). In the case of Activity II, there was an interaction between contralateral imbalances of the muscles exam and the timing - before and after the instruction (5x2) ( $p = 0.0117$ ). It should be noted here that during Activity II there are statistically significantly lower values of contralateral imbalances of ES activity after conducting ergonomic training, compared to the value before ( $p = 0.0131$ ) (Figs. 2G–2H).

## Activity I – transferring the casting



## Activity II – moving the casting



**Figure 2** Contralateral imbalances in muscle activity before and after ergonomic instruction for the two activities (A, C, E, G for each muscle separately; B, D, F, H - general). Mean values with 95% confidence intervals are shown.

Full-size DOI: 10.7717/peerj.13072/fig-2

## Gyroscopic analysis

The ZRP-3D6-BC system was used to assess the maximum range of motion between adjacent gyroscopes corresponding to consecutive motor segments of the lumbar spine. It was checked whether there was a statistically significant difference in this range before and after ergonomic instruction

### **Activity I - transferring the casting**

In the case of the sagittal plane - the forward flexion movement of the spine, there were statistically significant differences between the range of motion of the segments ( $p = 0.0117$ ), and more precisely, statistically significantly smaller values of movement in the L1/L2 segment than in the L5/S1 segment ( $p = 0.0087$ ) (Fig. 3A). For the extension movement in the sagittal plane, there were statistically significant differences in the examined range of motion between the segments ( $p = 0.0469$ ). There is a tendency towards significantly lower values in the L1/L2 segment than in the L4/L5 segment ( $p = 0.0710$ ) (Fig. 3B).

In the case of the frontal plane—left lateral flexion of the spine, there are statistically significant differences between the range of motion in the segments of the lumbar spine ( $p = 0.0031$ ) and more precisely significantly greater in L3 / L4 than in L4/L5 ( $p = 0.0108$ ) and in L5/S1 ( $p = 0.0412$ ) and also between L1/L2 and L4/L5 (higher in L1/L2,  $p = 0.0487$ ). Statistically significant lower values of the ranges of movement between the segments were obtained after the training as compared to the values before ( $p = 0.0231$ ) (Fig. 3C). For the frontal plane—right lateral flexion of the spine, there are statistically significant differences between the ranges of motion in the segments of the lumbar spine ( $p = 0.0012$ ) and more precisely significantly lower in L2/L3 than in L4/L5 ( $p = 0.0069$ ) and in L5/S1 ( $p = 0.0261$ ) and also between L1/L2 and L4/L5 (lower in L1/L2,  $p = 0.0156$ ). Statistically significant lower values of the ranges of movement between the segments were obtained after the ergonomic instruction as compared to the values before ( $p = 0.0032$ ) (Fig. 3D).

### **Activity II - moving the casting**

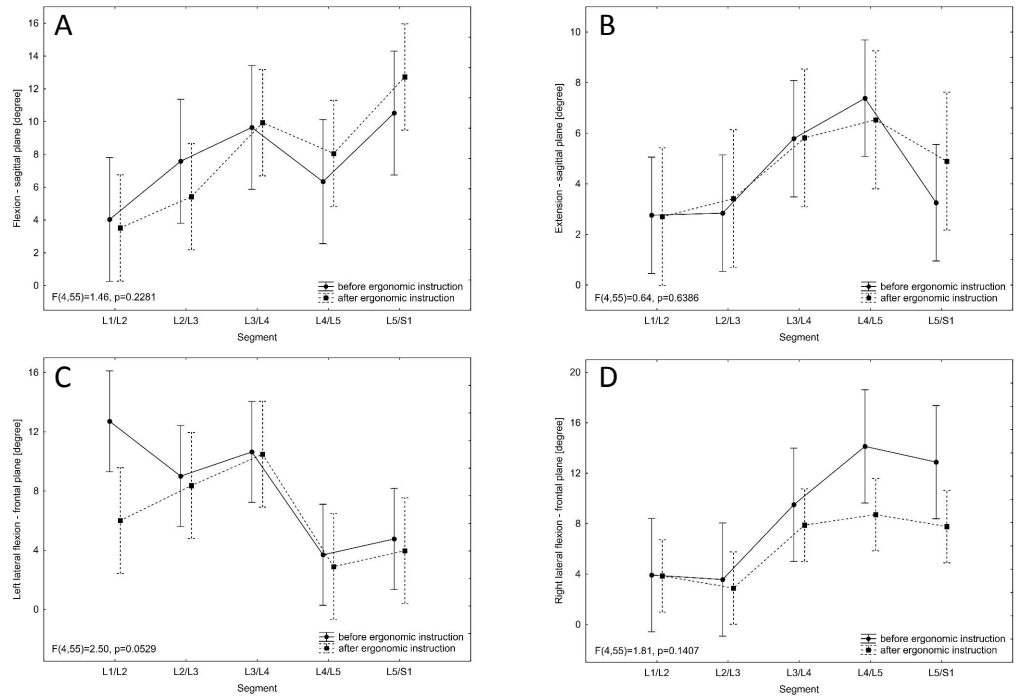
The results obtained for the sagittal plane showed higher values of the range of motion occurred after than before the ergonomic training (flexion -  $p = 0.0181$ ; extension -  $p = 0.1413$ ) (Figs. 3E–3F).

When analyzing the results for the frontal plane - right lateral flexion, there were statistically significant differences between the range of motion between the segments ( $p = 0.0040$ ), and more precisely significantly lower values in L2/L3 than in L4/L5 ( $p = 0.0160$ ) and L5/S1 ( $p = 0.0272$ ). After ergonomic instruction, lower values of the range of motion were obtained in the tested segments as compared to the values before ( $p = 0.1695$ ) (Fig. 3H).

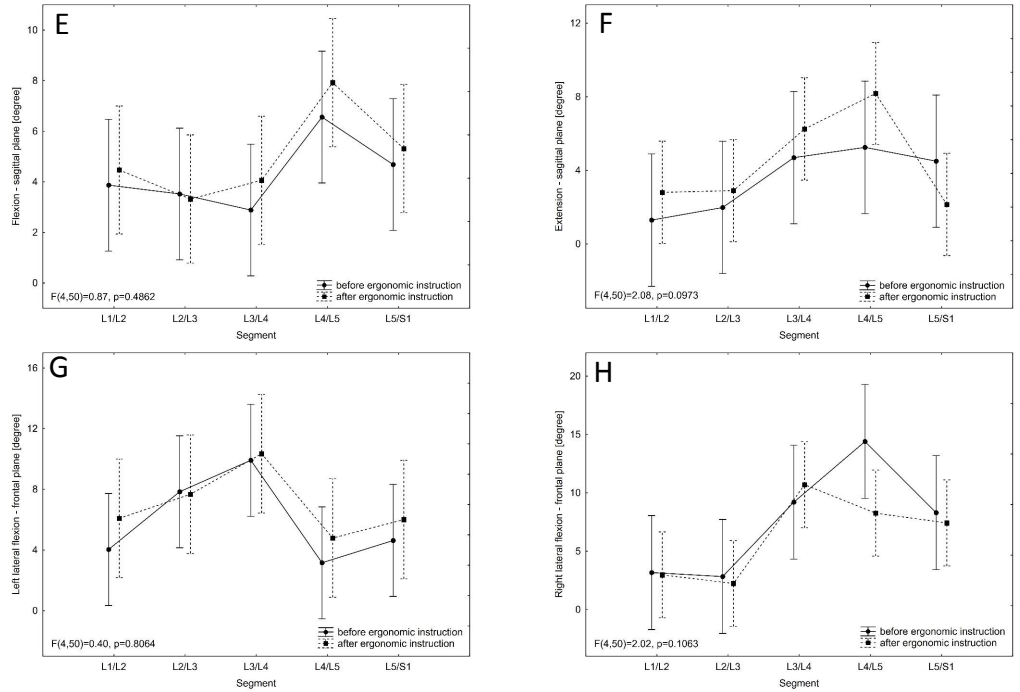
## Correlations

Correlations were sought between the delta (before *versus* after the instruction) of the EMG signal for the muscles in question and the delta (before *versus* after the instruction) of the range of motion in a particular motor segment. Two types of statistically significant correlations were determined in the case of activity I. For different pairs of parameters,

## Activity I – transferring the casting



## Activity II – moving the casting



**Figure 3** Values of the range of motion in a given spinal motor segment before and after the ergonomic instruction for the two activities. Mean values with 95% confidence intervals are shown.

Full-size DOI: [10.7717/peerj.13072/fig-3](https://doi.org/10.7717/peerj.13072/fig-3)

**Table 3** Summary of statistically significant ( $p < 0.05$ ) correlations between the delta (before versus after the instruction) of the EMG signal for a given muscle and the delta (before versus after the instruction) of the range of motion in a particular segment.

Activity I					
Plane	Spinal motion segment	Muscle	Phase	R value	p value
SAGITTAL - FLEXION	L3/L4	LD	one	-0.6224 <sup>a</sup>	0.0307
	L3/L4	MD	two	-0.5804 <sup>b</sup>	0.0479
	L4/L5	PM	three	-0.6993 <sup>b</sup>	0.0114
	L4/L5	ES	two	-0.6074 <sup>a</sup>	0.0362
	L5/S1	LD	one	-0.5874 <sup>b</sup>	0.0446
SAGITTAL-EXTENSION	L1/L2	PM	one	0.6853 <sup>b</sup>	0.0139
	L2/L3	ES	one	-0.5771 <sup>a</sup>	0.0495
FRONTAL - RIGHT LATERAL FLEXION	L1/L2	PM	two	-0.6014 <sup>b</sup>	0.0386
	L2/L3	MD	three	0.5874 <sup>b</sup>	0.0446
	L3/L4	LD	one	-0.6643 <sup>a</sup>	0.0185
	L4/L5	MD	three	-0.8042 <sup>b</sup>	0.0016
	L5/S1	PM	three	0.6783 <sup>b</sup>	0.0153
Activity II					
SAGITTAL-EXTENSION	L5/S1	LD		-0.6182 <sup>b</sup>	0.0426
FRONTAL - LEFT LATERAL FLEXION	L4/L5	ES		0.8455 <sup>b</sup>	0.0010
FRONTAL - RIGHT LATERAL FLEXION	L5/S1	ES		-0.6636 <sup>b</sup>	0.0260

**Notes.**

<sup>a</sup>Pearson's correlation test.

<sup>b</sup>Spearman rank correlation test,  $p < 0.05$  statistically significant value.

both an increase and a decrease in the range of motion in a given spinal motor segment after the instruction correlated with a decrease in contralateral imbalances in muscle EMG (after the ergonomic instruction) (Table 3). In the case of activity II, similar statistically significant correlations were calculated and for one pair of variables a correlation was found where a decrease in the range of motion after the instruction correlated with an increase in contralateral imbalances in muscle work after the ergonomic instruction (Table 3).

## DISCUSSION

Comprehensive ergonomic evaluation of the two activities consisted primarily in the analysis of EMG signal from selected muscles and ranges of motion between segments of the lumbar spine before and after the ergonomic instruction. We were able to obtain the full clinical picture thanks to the previously conducted questionnaire study and analysis of tomography examinations of the lumbar spine.

After the ergonomic instruction, during the activity of transferring the casting, the contralateral imbalance of muscle activity decreased for all examined muscles (Figs. 2A–2F). The activity of lifting the casting was performed with both hands and the instruction had

a positive effect on the movement technique. This was not observed in the case of moving the casting, which may be due to the fact that this movement was performed with one hand (asymmetric activity). Moreover, the occurrence of lumbar pain increases contralateral imbalances of muscle activity (Oddsson & Carlo, 2003). Also, imbalance or asymmetry of passive tissue could lead to asymmetry of muscular activation (Kim, Yoo & Choi, 2013). It is the changes within the passive tissue that are concomitant with the pathological changes found within intervertebral discs (Table 1). The significant decrease in ES electrical activity (Fig. 2G) is probably related to the change of the whole body posture resulting from the instruction. The employees adjusted the position of the trunk, but also engaged the lower limbs during the phase of putting down the casting or changed the grip on the casting while lifting it, at the same time paying attention to reducing the lever arm of gravity. Moreover, it should be emphasised that the weight of the casting before and after the instruction was the same, *i.e.* the spinal column in both cases was exposed to a pathobiomechanism which may cause musculoskeletal disorders (Ogurkowska & Kawalek, 2016). Therefore, optimising loads may be considered as the main task of the instruction. On the other hand, the change in body posture may have caused a redistribution of electrical ES activity. There are differences in amplitude depending on the place of EMG detection along the ES muscle (Serafino *et al.*, 2021). Examined with the ZRP-3D6-BC system, the maximum ranges of motion between segments of the lumbar spine while transferring the casting prior to the instruction were similar to the reference values of mobility of individual segments (Panjabi *et al.*, 1989; Adams, 2004). This means that the activity of putting down the casting was performed in a manner requiring full involvement of the musculoskeletal system and the full range of mobility of the lumbar spine in the sagittal and frontal planes. It should be emphasised that the ranges of motion of individual pairs of vertebrae examined in this study provide a much more precise picture of the pathobiomechanism of lumbar pain symptoms than an assessment of the entire L1-S1 segment. In the case of the sagittal plane, the range of motion increased together with the increase in the number of the lumbar vertebra, similarly to what Panjabi presented (1989). This was seen for both activity I and II. However, for the frontal plane, Panjabi determined that the middle segments of the lumbar spine had the greatest mobility (Panjabi *et al.*, 1989). In the measured maximum ranges of motion for both activities, the highest values were also observed for the middle segments of this section (frontal plane).

Analysing the measured maximum ranges of motion before and after the instruction, for the sagittal plane, both an increase and a decrease in the angular ranges were observed. In response to the instruction, the subjects changed their movement pattern, which may have influenced the compensation phenomenon, *i.e.* in this case, a decrease in the range of movement in one segment may cause an increase in the range of movement in another segment. The pathobiomechanism of load transfer through the vertebral column means that the highest loads are carried by the lowermost segments (Kraemer, 2013; Ogurkowska & Błaszczyk, 2020). The force of gravity acting on the spine will consist of two components, *i.e.* the compression force and the shear force. The shear force has a negative effect and causes the protrusion of the intervertebral disc, which further leads to pain. More importantly, the shear force increases drastically due to movement, especially

when leaning forward. In addition, this force is greater the lower the spine segments are located, which results from the angle of inclination of the intervertebral discs in relation to the transverse plane. It should be remembered that pathobiomechanical changes over time were studied. Performing repetitive movements in an incorrect way will lead to the formation of a hernia of the intervertebral disc and severe pain. Therefore, the study focused on the way of performing activities and the possibility of changing it through ergonomic instruction. (Adams et al., 2010). Increase in range of motion were observed at the L5/S1 level for spine flexion. Moreover, the presence of pathological changes visible in the tomographic image (the lower the motor segment, the more pathological changes—Table 2) may, on the one hand, be caused by excessive loading of the lower spinal segments and, on the other hand, disrupt the normal motor pattern and aggravate the phenomenon of compensation. The occurrence of degenerative changes within the intervertebral disc and the associated pain will disrupt the correct pattern of lifting/putting down a heavy object (Kraemer, 2013). A decrease in the range of motion for particular segments would indicate that the activity of putting down the casting is performed while maintaining the physiological curvature of the spine. Such position allows not to overload the intervertebral discs (equal distribution of pressure) and to prevent pathological changes (Kraemer, 2013). It should be remembered that all examined persons were diagnosed with pathological changes within the lumbar spine (Table 2). It may be associated with increased mobility within the spine segments due to improper functioning of the tissues stabilizing the spine (Ogurkowska & Kawalek, 2016). The decrease in the range of motion in the spine segments after the ergonomic training is a positive phenomenon. The lack of significant differences can be explained by the fact of increased mobility in segments associated with numerous degenerative changes. In addition, a single ergonomic instruction may not be a sufficient stimulus prompting changes in the developed/habitual movement pattern. Low effectiveness of a single instruction with simultaneous response to strength training at the workplace was observed in studies focusing on the assessment of musculoskeletal complaints (Sundstrup et al., 2020). For the frontal plane, however, a decrease in the ranges of motion between all segments was observed during the first activity. This change was the greatest for the L5/S1 segment (Figs. 3C–3D). This is the lowest segment of the lumbar spine, carrying the highest loads, which makes it the most vulnerable to the development of pathological changes (Ogurkowska & Błaszczyk, 2018). The decrease in contralateral imbalances of the activity of the muscles studied, in turn, correlated with both the decrease and increase in the ranges of motion of individual segments of the lumbar spine (Table 3). To achieve better results—reducing pain by improving posture and optimising loads during work—a multi-pronged intervention including ergonomic instruction, physical training and cognitive-behavioural training (CBT) would need to be introduced (Stevens et al., 2019). Early ergonomic intervention including assessment of the work environment, tools or devices operated, postures assumed while working, the need to carry heavy objects, pace of work and breaks, reduces sickness absence due to upper limb complaints or other musculoskeletal conditions (Shiri et al., 2011). This study has shown that this is not the case with a single instruction/discussion of the ergonomic situation in the workplace. Another way could be to extend the duration of the intervention up to several weeks. For workers

with work-related neck-shoulder pain (WRNSP), the use of individualized motor control training and advice of ergonomic modifications at their workplaces resulted in reduced pain, increased range of motion of the cervical spine and reduced activity of bilateral upper trapezius muscle during active neck movements and functional tasks such as lifting things (Tsang *et al.*, 2018).

### **Limitation of the study**

Due to the disturbances caused by the presence of the electromagnetic field in the foundry, it was not possible to conduct electromyographic and gyroscopic tests directly at the production line workstations. In addition, the EMG readings obtained depend on the accuracy of the electrode placement, and hence the experience of the tester. The workplace built in the laboratory was an accurate simulation of the production line located in the foundry, which was confirmed by the employees themselves. A limited number of employees took part in the study, as they were all people employed in these positions. The workplaces covered by the study were selected as those that burden the musculoskeletal system the most.

## **CONCLUSIONS**

Conducting ergonomic instruction consisting in teaching the correct performance of a movement task reduced the contralateral imbalance of muscle activity and changes the ranges of movement of L1-S1 segments. The task of optimizing the load on the musculoskeletal system, including the lumbar spine, should be carried out by means of appropriate ergonomic instruction and multi-pronged measures, including analysis of the health of employees, their working environment and physical activity outside the workplace. Electromyography and measurements of the range of movement of the lumbar spine appear to be good tools for the evaluation of workplace ergonomics.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors would like to thank Mrs. Magdalena Lewandowska (Head of the computational section of the University of Physical Education) for her assistance in statistical analysis.

## **ADDITIONAL INFORMATION AND DECLARATIONS**

### **Funding**

The authors received no funding for this work.

### **Competing Interests**

The authors declare there are no competing interests.

### **Author Contributions**

- Anna Błaszczuk conceived and designed the experiments, performed the experiments, analyzed the data, prepared figures and/or tables, authored or reviewed drafts of the paper, and approved the final draft.



- Małgorzata B. Ogurkowska conceived and designed the experiments, performed the experiments, analyzed the data, authored or reviewed drafts of the paper, and approved the final draft.

### Human Ethics

The following information was supplied relating to ethical approvals (i.e., approving body and any reference numbers):

The study was approved by the Bioethics Committee of the Poznan University of Medical Sciences (no. 561/18).

### Data Availability

The following information was supplied regarding data availability:

The raw data are available in the [Supplementary File](#).

### Supplemental Information

Supplemental information for this article can be found online at <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.13072#supplemental-information>.

## REFERENCES

- Abdoli-Eramaki M, Agababova M, Janabi J, Pasko E, Damecour C. 2019.** Evaluation and comparison of lift styles for an ideal lift among individuals with different levels of training. *Applied Ergonomics* **78**:120–126 DOI [10.1016/j.apergo.2019.02.007](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.02.007).
- Adams MA. 2004.** Biomechanics of back pain. *Acupuncture in Medicine* **22(4)**:178–188 DOI [10.1136/aim.22.4.178](https://doi.org/10.1136/aim.22.4.178).
- Adams MA, Bogduk N, Burton K, Dolan P. 2010.** *Biomechanika bólu kręgosłupa*. Warszawa: DB Publishing.
- Andersen LL, Clausen T, Mortensen OS, Burr H, Holtermann A. 2012.** A prospective cohort study on musculoskeletal risk factors for long-term sickness absence among healthcare workers in eldercare. *International Archives of Occupational and Environmental Health* **85**:615–622 DOI [10.1007/s00420-011-0709-5](https://doi.org/10.1007/s00420-011-0709-5).
- Andersen LL, Fallentin N, Ajslev JZN, Jakobsen MD, Sundstrup E. 2017.** Association between occupational lifting and day-to-day change in low-back pain intensity based on company records and text messages. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* **43**:68–74 DOI [10.5271/sjweh.3592](https://doi.org/10.5271/sjweh.3592).
- Andersen LL, Fallentin N, Thorsen SV, Holtermann A. 2016.** Physical workload and risk of long-term sickness absence in the general working population and among bluecollar workers: prospective cohort study with register follow-up. *Occupational and Environmental Medicine* **73(4)**:246–253 DOI [10.1136/oemed-2015-103314](https://doi.org/10.1136/oemed-2015-103314).
- Andreia SP, SousaJoao Manuel RS. 2012.** Surface electromyographic amplitude normalization methods: A review. In: Takada H, ed. *Electromyography: new developments, procedures and applications*. New York: Nova Science Publishers, Incorporated.

- Bazazan A, Dianat I, Feizollahi N, Mombeini Z, Shirazi AM, Castellucci HI. 2019.** Effect of a posture correction–based intervention on musculoskeletal symptoms and fatigue among control room operators. *Applied Ergonomics* **76**:12–19 DOI [10.1016/j.apergo.2018.11.008](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.11.008).
- Bevan S, Quadrello T, McGee R. 2009.** Fit for work - musculoskeletal disorders in the european workforce. London: The Work Foundation.
- Błaszczuk A, Zygmńska-Jabłońska M, Wegner-Czerniak K, Ogurkowska MB. 2020.** Evaluating progressive overload changes of the musculoskeletal system in automobile industry workers. *Polish Journal of Environmental Studies* **29**(4):2579–2586 DOI [10.15244/pjoes/111883](https://doi.org/10.15244/pjoes/111883).
- Brandt M, Andersen LL, Samani A, Jakobsen MD, Madeleine P. 2017.** Inter-day reliability of surface electromyography recordings of the lumbar part of erector spinae longissimus and trapezius descendens during box lifting. *BMC Musculoskeletal Disorders* **18**(1):519 DOI [10.1186/s12891-017-1872-y](https://doi.org/10.1186/s12891-017-1872-y).
- Burden A. 2010.** How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25years of research. *Journal of Electromyography and Kinesiology* **20**(6):1023–1035 DOI [10.1016/j.jelekin.2010.07.004](https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.07.004).
- Burden AM, Trew M, Baltzopoulos V. 2003.** Normalisation of gait EMGs: a re-examination. *Journal of Electromyography and Kinesiology* **13**(6):519–532 DOI [10.1016/S1050-6411\(03\)00082-8](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(03)00082-8).
- Buseck M, Schipplein OD, Andersson GB, Andriacchi TP. 1988.** Influence of dynamic factors and external loads on the moment at the lumbar spine in lifting. *Spine (Phila Pa 1976)* **13**(8):918–921 DOI [10.1097/00007632-198808000-00009](https://doi.org/10.1097/00007632-198808000-00009).
- Clancy EA, Morin EL, Merletti R. 2002.** Sampling, noise-reduction and amplitude estimation issues in surface electromyography. *Journal of Electromyography and Kinesiology* **12**(1):1–16 DOI [10.1016/S1050-6411\(01\)00033-5](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(01)00033-5).
- Cram J, Kasman G, Holtz J. 1998.** *Introduction to surface EMG*. Maryland: Aspen Publishers.
- DeLuca C. 1997.** The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of Applied Biomechanics* **13**(2):135–163 DOI [10.1123/jab.13.2.135](https://doi.org/10.1123/jab.13.2.135).
- Dennerlein JT. 2017.** Ergonomics and musculoskeletal issues. In: Quah SR, ed. *International encyclopedia of public health*. 2nd edn. Boston: Academic Press, 577–584 DOI [10.1016/B978-0-12-803678-5.00139-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00139-9).
- Faber GS, Kingma I, Dieën JH. 2011.** Effect of initial horizontal object position on peak L5/S1 moments in manual lifting is dependent on task type and familiarity with alternative lifting strategies. *Ergonomics* **54**:72–81 DOI [10.1080/00140139.2010.535019](https://doi.org/10.1080/00140139.2010.535019).
- Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. 2000.** Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology* **10**:361–374 DOI [10.1016/S1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00027-4).
- Hwang S, Kim Y, Kim Y. 2009.** Lower extremity joint kinetics and lumbar curvature during squat and stoop lifting. *BMC Musculoskeletal Disorders* **10**(1):15–20 DOI [10.1186/1471-2474-10-15](https://doi.org/10.1186/1471-2474-10-15).

- Jakobsen MD, Sundstrup E, Brandt M, Persson R, Andersen LL. 2018.** Estimation of physical workload of the low-back based on exposure variation analysis during a full working day among male blue-collar workers, Cross-sectional workplace study. *Applied Ergonomics* **70**:127–133 DOI [10.1016/j.apergo.2018.02.019](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.02.019).
- Kasman GS, Cram JR, Wolf SL, Barton L. 1998.** *Clinical applications in surface electromyography, chronic musculoskeletal pain*. Maryland: Aspen Publishers.
- Kim M, Yoo W, Choi B. 2013.** Differences between two subgroups of low back pain patients in lumbopelvic rotation and symmetry in the erector spinae and hamstring muscles during trunk flexion when standing. *Journal of Electromyography and Kinesiology* **23**(2):387–393 DOI [10.1016/j.jelekin.2012.11.010](https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.11.010).
- Konarska M, Wolska A, Widerszal-Bazyl M, Bugajska J, Roman-Liu D, Aarås A. 2005.** The effect of an ergonomic intervention on musculoskeletal, psychosocial and visual strain of VDT data entry work: the polish part of the international study. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* **11**(1):65–76 DOI [10.1080/10803548.2005.11076631](https://doi.org/10.1080/10803548.2005.11076631).
- Koo TK, Li MY. 2016.** A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine* **15**(2):155–163 DOI [10.1016/j.jcm.2016.02.012](https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012).
- Kraemer J. 2013.** *Intervertebral disc diseases: Causes, diagnosis, treatment, and prophylaxis*. Wrocław: Elsevier Urban & Partner.
- Macdonald W, Oakman J. 2013.** Requirements for more effective prevention of work-related musculoskeletal disorders. *BMC Musculoskeletal Disorders* **16**:293 DOI [10.1186/s12891-015-0750-8](https://doi.org/10.1186/s12891-015-0750-8).
- Matsudaira K, Konishi H, Miyoshi K, Isomura T, Takeshita K, Hara N, Yamada K, Machida H. 2012.** Potential risk factors for new onset of back pain disability in Japanese workers: Findings from the Japan epidemiological research of occupation-related back pain study. *Spine* **37**:1324–1333 DOI [10.1097/BRS.0b013e3182498382](https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3182498382).
- Merletti R. 1999.** Standards for reporting EMG data. *Journal of Electromyography and Kinesiology* **9**:III–IV.
- Oddsson LIE, Carlo JL. 2003.** Activation imbalances in lumbar spine muscles in the presence of chronic low back pain. *Journal of Applied Physiology* **94**(4):1410–1420 DOI [10.1152/jappphysiol.01183.2001](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01183.2001).
- Ogurkowska MB, Błaszczyk A. 2018.** Variation in human vertebral body strength for vertebral body samples from different locations in segments L1-L5. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)* **60**:66–75 DOI [10.1016/j.clinbiomech.2018.10.008](https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2018.10.008).
- Ogurkowska MB, Błaszczyk A. 2020.** Distribution of Young's modulus at various sampling points in a human lumbar spine vertebral body. *Spine Journal* **20**(11):1861–1875 DOI [10.1016/j.spinee.2020.06.013](https://doi.org/10.1016/j.spinee.2020.06.013).
- Ogurkowska M, Kawalek K. 2016.** Pathological changes in the lumbar intervertebral discs among professional field hockey players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* **56**(1–2):85–91.

- Overton M, Reynolds E, Clark N, Bhana H, Mulligan H, Elliot K, Minnoch P. 2016.** Physical activity levels and injury prevention knowledge and practice of a cohort of carpentry students. *New Zealand Journal of Physiotherapy* **44**(2):84–90 DOI [10.15619/NZJP/44.2.03](https://doi.org/10.15619/NZJP/44.2.03).
- Panjabi M, Yamamoto I, Oxland T, Crisco J. 1989.** How does posture affect coupling in the lumbar spine? *Spine* **14**:1002–1011 DOI [10.1097/00007632-198909000-00015](https://doi.org/10.1097/00007632-198909000-00015).
- Reger SI, Shah A, Adams TC, Endredi J, Ranganathan V, Yue GH, Sahgal V, Finneran MT. 2006.** Classification of large array surface myoelectric potentials from subjects with and without low back pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology* **16**:392–401 DOI [10.1016/j.jelekin.2005.08.004](https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2005.08.004).
- Rivilis I, Eerd D, Cullen K, Cole DC, Irvin E, Tyson J, Mahood Q. 2008.** Effectiveness of participatory ergonomic interventions on health outcomes: a systematic review. *Applied Ergonomics* **39**(3):342–358 DOI [10.1016/j.apergo.2007.08.006](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2007.08.006).
- Rodríguez Y. 2018.** Individual Risk Assessment (ERIN): method for the assessment of workplace risks for work-related musculoskeletal disorders. In: Hernández Arellano J, Maldonado Macías A, Castillo Martínez J, Peinado Coronado P, eds. *Handbook of research on ergonomics and product design*. IGI Global, 1–27 DOI [10.4018/978-1-5225-5234-5.ch001](https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5234-5.ch001).
- Serafino F, Trucco M, Occhionero A, Cerone GL, Chiarotto A, Vieira T, Gallina A. 2021.** Understanding regional activation of thoraco-lumbar muscles in chronic low back pain and its relationship to clinically relevant domains. *BMC Musculoskeletal Disorders* **22**:432 DOI [10.1186/s12891-021-04287-5](https://doi.org/10.1186/s12891-021-04287-5).
- Shiri R, Martimo KP, Miranda H, Ketola R, Kaila-Kangas L, Liira H, Karppinen J, Viikari-Juntura E. 2011.** The effect of workplace intervention on pain and sickness absence caused by upper-extremity musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* **37**(2):120–128 DOI [10.5271/sjweh.3141](https://doi.org/10.5271/sjweh.3141).
- Sterud T, Tynes T. 2013.** Work-related psychosocial and mechanical risk factors for low back pain: a 3-year follow-up study of the general working population in Norway. *Occupational and Environmental Medicine* **70**:296–302 DOI [10.1136/oemed-2012-101116](https://doi.org/10.1136/oemed-2012-101116).
- Stevens ML, Boyle E, Hartvigsen J, Mansell G, Søgaard K, Jørgensen MB, Holtermann A, Rasmussen CDN. 2019.** Mechanisms for reducing low back pain: a mediation analysis of a multifaceted intervention in workers in elderly care. *International Archives of Occupational and Environmental Health* **92**(1):49–58 DOI [10.1007/s00420-018-1350-3](https://doi.org/10.1007/s00420-018-1350-3).
- Sundstrup E, Seeberg KGV, Bengtsen E, Andersen LL. 2020.** A systematic review of workplace interventions to rehabilitate musculoskeletal disorders among employees with physical demanding work. *Journal of Occupational Rehabilitation* **30**(4):588–612 DOI [10.1007/s10926-020-09879-x](https://doi.org/10.1007/s10926-020-09879-x).
- Tsang SMH, So BCL, Lau RWL, Dai J, Szeto GPY. 2018.** Effects of combining ergonomic interventions and motor control exercises on muscle activity and kinematics in people with work-related neck-shoulder pain. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* **118**(4):751–765 DOI [10.1007/s00421-018-3802-6](https://doi.org/10.1007/s00421-018-3802-6).

- Vieira TM, Botter A. 2021.** The accurate assessment of muscle excitation requires the detection of multiple surface electromyograms. *Exercise and Sport Sciences Reviews* **49**:23–34 DOI [10.1249/JES.0000000000000240](https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000240).
- Vigotsky AD, Halperin I, Lehman GJ. 2018.** Interpreting signal amplitudes in surface electromyography studies in sport and rehabilitation sciences. *Frontiers in Physiology* **8**:985 DOI [10.3389/fphys.2017.00985](https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00985).
- Villumsen M, Samani A, Jørgensen MB, Gupta N, Madeleine P, Holtermann A. 2015.** Are forward bending of the trunk and low back pain associated among Danish blue-collar workers? A cross-sectional field study based on objective measures. *Ergonomics* **58**(2):246–258 DOI [10.1080/00140139.2014.969783](https://doi.org/10.1080/00140139.2014.969783).