

dr TOMASZ TOKARSKI
 dr inż. DANUTA ROMAN-LIU
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy

Optymalizacja położenia elementu sterowniczego na stanowiskach wyposażonych w pedały

Celem artykułu jest przedstawienie sposobu optymalizacji położenia elementu sterowniczego na stanowiskach wyposażonych w pedały. Jako kryterium optymalizacji wybrano wartości momentu siły występującego w stawie kolanowym podczas nacisku na pedał, z uwzględnieniem pozycji podczas pracy.

Optimisation of a steering element at workplaces equipped with pedals
 The aim of the article was to present a way of optimisation of a steering element position at workplaces equipped with pedals. The value of moment of force performed in the knee joint during pressing pedal was chosen as the criterion of optimisation. Body posture during work was also taken into account.

Wstęp

Choroby układu kostno-stawowego charakteryzują się jednym z najwyższych wskaźników absencji chorobowej, zarówno u pracowników komunikacji miejskiej (mężczyźni 0,23, kobiety 0,61), jak i u pracowników transportu drogowego (odpowiednio 0,29, 0,69), nie wliczając w absencję chorobową zapalenia stawów [1].

Stanowiska pracy w komunikacji miejskiej i transporcie to przede wszystkim stanowiska pracy kierowców pojazdów mechanicznych, a zatem ta grupa zawodowa znajduje się w strefie wysokiego ryzyka dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego.

Wiadomo, że w przypadku stanowisk pracy kierowcy pozycja przy pracy ma wpływ zarówno na komfort, jak i bezpieczeństwo. Chociaż stanowiska te charakteryzują się stosunkowo niewielką swobodą w doborze pozycji pracy, to jednak kierowca ma pod tym względem pewien zakres swobody.

Na podstawie badań dużej grupy osób (300) udowodniono, że kobiety podczas prowadzenia pojazdu siedzą bliżej kierownicy niż mężczyźni [2], wykazano także, że zmienia się wzajemne położenie kierowcy w stosunku do usytuowania pedału i zwrócono uwagę na konieczność zwiększenia możliwości regulacji, w celu dostosowania położenia elementów sterowniczych do parametrów antropometrycznych człowieka [2]. Niektóre badania były skoncentrowane na optymalizacji samego siedziska [3], inne natomiast uwzględniały parametry antropometrycz-

ne kierowcy w relacji do przestrzeni pracy [4].

Szczegółową analizę warunków dostosowania pedału sprzęgła w pojazdach samochodowych przeprowadzili Wang X. i współaut. [5]. Zaobserwowano zależność pomiędzy czasem i wartością przemieszczenia stopy podczas prowadzenia pojazdu a położeniem pedału względem siedziska oraz oporem stawianym przez pedał [5]. Opracowano także założenia odnośnie optymalnego położenia pedałów, z uwzględnieniem antropometrii. Przy czym optymalizacja przeprowadzana jest ze względu na wartości maksymalnej siły na pedale, podczas zmiany jego położenia w dwóch płaszczyznach: strzałkowej i poprzecznej [6].

Na konieczność wprowadzenia rozwiązań poprawnych z punktu widzenia ergonomii, w celu podniesienia jakości i niezawodności maszyn, zwrócono uwagę nie tylko w przypadku pojazdów komunikacji miejskiej, ale także w przypadku maszyn rolniczych [7] i robotów budowlanych ziemnych. Analizowano, jaki wpływ na wydatek energetyczny ma pozycja kierowcy i siła nacisku na pedał. Jednakże brak jest badań, które wskazywałyby na zależność obciążenia kończyn dolnych od usytuowania pedału w stosunku do kierowcy.

Badania własne [8] potwierdziły, że obciążenie kończyn dolnych wywołane czynnością nacisku na pedał zależy od czasu trwania i wartości siły jaka jest wywierana. W przypadku znacznych wartości sił oraz długiego okresu oddziaływania czynność ta wpływa na znaczne

zmniejszenie dokładności sterowania i w związku z tym na obniżenie bezpieczeństwa ruchu pojazdów. Może także powodować dolegliwości i schorzenia kończyn dolnych, szczególnie stawu kolanowego.

Urządzenia i elementy stanowiska pracy, nieuwzględniające parametrów antropometrycznych populacji jego użytkowników mają największy wpływ na nadmierne obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego, a tym samym na ewentualne dolegliwości i urazy pracowników [9, 10, 11]. Zaznajomienie pracowników z możliwościami prawidłowego dostosowania elementów stanowiska pracy do własnych potrzeb i możliwości pozwoli na poprawę warunków pracy, zmniejszenie obciążenia, a tym samym zmniejszenie dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego. Oznacza to potrzebę opracowania kryterium oraz optymalizacji położenia elementu sterowniczego w przestrzeni pracy na stanowiskach wyposażonych w pedały.

Optymalizacja położenia elementu sterowniczego na takich stanowiskach może być przeprowadzona z wykorzystaniem zależności matematycznej wyznaczającej obciążenie mięśni kończyny dolnej w funkcji położenia pedału i maksymalnej siły na pedale.

Celem tego artykułu jest przedstawienie kryterium oraz optymalizacji położenia elementu sterowniczego w przestrzeni pracy na stanowiskach wyposażonych w pedały. Jako kryterium optymalizacji wybrano wartości momentów sił występujących w stawach kończyny dolnej podczas nacisku na pedał, z uwzględnieniem pozycji podczas pracy.

Kryteria doboru optymalnej pozycji

Odpowiednie ustawienie pedału w przestrzeni roboczej z uwzględnieniem parametrów antropometrycznych polega na doborze położenia i zakresu ruchu pe-





Fot. Oznaczenia kątów w stawach kończyny dolnej: staw skokowo-goleniowy – Sk, staw kolanowy – Kol, staw biodrowy – Biod

dału w stosunku do długości poszczególnych członów kończyny dolnej. Biomechaniczna analiza tego typu stanowiska pracy bierze pod uwagę także obciążenia głównych stawów kończyny dolnej (fot.).

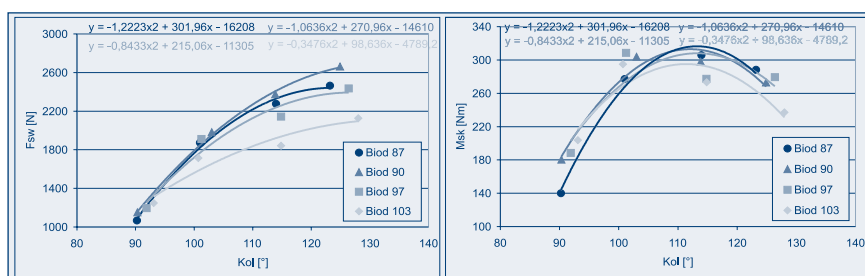
Przeprowadzone badania własne [8] pozwoliły na określenie zależności pomiędzy położeniem pedału i ustawieniem siedziska oraz wartościami siły wywieranej na pedał a wartościami obciążeń kończyn dolnych podczas nacisku na pedał (rys. 1.). Uwzględnienie tych wartości znacząco minimalizuje obciążenie kończyny dolnej. Najkorzystniejszym pod względem obciążenia położeniem kątowym w stawie kolanowym jest zakres pomiędzy 120 a 130°. W tym przedziale kątowym wartość momentu obciążającego staw jest stosunkowo mała, podczas gdy wartość siły wywieranej na pedał osiąga wartość największą. Podobnie określono wartości katowe w stawach skokowo-goleniowym (90°) i biodrowym (100 ÷ 110°).

Oprócz zalecanych wartości kątów w stawach kończyny dolnej obliczono także maksymalną wartość siły na pedale. Założono, że jeżeli podczas pracy dynamicznej ciągłej wartość ta nie przekracza 30% wartości maksymalnej, to nie występuje fizjologiczne zmęczenie. W większości przypadków praca z wykorzystaniem pedału ma charakter statyczny, a w takich przypadkach ze względów ergonomicznych, jako wartość zalecaną przyjęto 10% wartości maksymalnej [12].

Wartość siły wywieranej na pedał podczas pracy określono na podstawie tabeli (tab. 1.), postępując według następującego schematu:

– w przebadanej grupie osób zmierzono wartość maksymalnego momentu siły prostowników stawu kolanowego (A, tab. 1.) [13]

– na podstawie tych wartości wyliczono wartość siły z równania (1), (B, tab. 1.)



Rys. 1. Zależności pomiędzy kątem w stawie kolanowym (Kol) a wartościami siły na pedale (Fsw) i obciążeniem stawu kolanowego (Msk)

– 10% tej wartości uznano za dopuszczalne podczas pracy ciągłej na stanowiskach wyposażonych w pedały (C, tab. 1.).

Opracowane równanie wyjaśnia zależność pomiędzy wartością siły na pedale a wartością obciążenia stawu kolanowego:

$$Msk = 0,1143 \cdot Fsw + 40,512 \quad (1)$$

gdzie:

Fsw – wartość siły zmierzonej na pedale [N]

Msk – wartość momentu siły obciążającej staw kolanowy [Nm].

Równanie (1) zostało opracowane na podstawie własnych badań doświadczalnych. Może ono mieć szerokie zastosowanie. Pozwala na wyznaczenie maksymalnej siły na pedale, na podstawie wartości momentu siły prostowników stawu kolanowego, mierzonego w warunkach statycznych w dowolnych badaniach lub ocenę możliwości siłowych kończyny dolnej na podstawie pomiaru maksymalnej zmierzonej siły na pedale.

Obliczona wartość siły (C, tab. 1) dotyczy badanej grupy osób oraz jako wy-

znaczona dla grupy mężczyzn w wieku 20 – 45 lat odnosi się do takiej właśnie populacji [13]. W tym przedziale wiekowym nie zaobserwowano zmian (zmniejszenia) wartości momentów sił mięśniowych kończyn i tułowia człowieka ani u mężczyzn, ani u kobiet [13]. Wartości momentów sił mięśniowych kobiet są mniejsze o około jedną trzecią i dlatego maksymalna wartość siły na pedale powinna wynosić dla kobiet około 2/3 wartości zalecanej dla mężczyzn. Uwzględniając równanie prostej dotyczącej zależności pomiędzy siłą na pedale i obciążeniem stawów (1), okazuje się, że zmniejs-

zenie wartości momentu siły stawu kolanowego z 231 Nm do 150 Nm (wartość odpowiadająca kobietom) powoduje zmniejszenie wartości maksymalnej siły, którą może operator wywrzeć na pedale do 992 N i 10% tej wartości do ~99 N.

Tak więc kryteriami doboru optymalnej pozycji pedału są:

- wartość kąta w stawach – kolanowym, biodrowym i skokowo-goleniowym
- wartość siły potrzebnej do uruchomienia i sterowania pedałem.

Opis metody oceny stanowisk i kryteriów do optymalizacji stanowisk pracy wyposażonych w pedały

Na podstawie przedstawionych wyników badań i zależności matematycznej opracowano sposób optymalizacji położenia elementu sterowniczego ze względu na obciążenia kończyn dolnych podczas czynności sterowania pedałem. Zastosowanie schematu przedstawionego na

Tabela 1
OBLICZANIE MAKSYMALNEJ WARTOŚCI SIŁY NA PEDALE NIE POWODUJĄCEJ ZMĘCZENIA PODCZAS PRACY

| A | Wartość momentu siły prostowników stawu kolanowego zmierzona w warunkach statycznych | [Nm] | 231 |
|---|--|------|-------|
| B | Wartość siły wyliczona z równania (1) | [N] | 1667 |
| C | 10% siły – brak zmęczenia pracą | [N] | 166,7 |





Rys. 2. Schemat optymalizacji położenia elementu sterowniczego na stanowiskach wyposażonych w pedały. Wartość kąta w stawie skokowo-goleniowym – Sk, kolanowym – Kol, biodrowym – Biod, wartość maksymalnej zalecanej siły na pedale dla mężczyzn – Fswm i kobiet – Fswk

rys. 2. umożliwi optymalizację obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego kończyn dolnych, co będzie skutkowało poprawą warunków pracy na tego typu stanowiskach.

Ocena i poprawa warunków pracy w pierwszym etapie może być przeprowadzona na dwa różne sposoby. Pierwszy sposób polega na rejestracji parametrów stanowiska (rys. 2.) i dopasowania ich do budowy fizycznej osoby badanej. Drugi sposób to rejestracja odległości i kątów ustawienia poszczególnych członów ciała podczas pracy na wybranym stanowisku. W drugim etapie następuje porównanie parametrów zebranych na stanowisku pracy (związane z siedziskiem lub odległości pomiędzy osiami obrotów w stawach) z danymi opracowanymi podczas badań (zarówno pozycja przy pracy jak i zalecane wartości siły nacisku na pedał). W etapie tym następuje także uszczegółowienie danych wyjściowych przez opisanie dokładnych regulacji stanowiska pracy w celu dostosowania go do potrzeb pracownika, a także przeprowadzenie zmian na stanowisku w celu poprawy warunków pracy. Zmiany te dotyczą głównie odpowiedniego ustawienia odległości pedału od siedziska, wysokości siedziska i kąta pochylecia oparcia. Optymalizacja opracowana została w tzw. zamkniętej pętli pozwalającej na

stałą kontrolę warunków pracy na stanowisku.

Wykorzystując przedstawiony schemat, przeprowadzono badania na pięciu różnych typach stanowisk pracy. Ogółem oceniono 10 wybranych stanowisk pracy (tab. 2.). Analizę przeprowadzono na podstawie parametrów odnoszących się do długości i kątów występujących się na stanowiskach pracy oraz wzrostu osób pracujących na tych stanowiskach.

Na wszystkich analizowanych stanowiskach pracy kąt w stawie biodrowym był prawidłowy. Na 4 stanowiskach – spośród 10 analizowanych – kąt w stawie kolanowym również był prawidłowy. Na kolejnych 4 stanowiskach kąt ten był tylko nieznacznie większy lub mniejszy od zalecanego (akceptowalne). Na dwóch spośród badanych stanowisk (stanowiska kierowców samochodów osobowych) wartość kąta w stawie kolanowym była zbyt duża. W pojazdach tych zakres regulacji siedziska i pedału uniemożliwia

przyjęcie pozycji optymalnej pod względem obciążenia stawu kolanowego ($120 \div 130^\circ$), pedały znajdują się zbyt daleko i zbyt wysoko w stosunku do siedziska.

Wnioski

Z badań wynika, że najbardziej narażonym na obciążenie stawem kończyn dolnych na stanowiskach pracy w pozycji siedzącej podczas sterowania pedałem jest staw kolanowy. Obciążenie tego właśnie stawu stanowi kryterium optymalizacji. Przyjęcie właściwej pozycji polega w tym przypadku na doborze wysokości i jego odległości od pedału.

Wyznaczone kryterium oraz schemat optymalizacji położenia elementu sterowniczego na stanowiskach pracy wyposażonych w pedały może służyć do oceny istniejących i stanowić pomoc w tworzeniu nowych ergonomicznych stanowisk pracy, oceny dokonywanej przede wszystkim przez pracodawców i osoby odpowiedzialne za organizację pracy w zakładzie Z kolei dane dotyczące wzorcowego pod względem obciążenia kończyn dolnych stanowiska pracy powinny umożliwić dostosowanie każdego stanowiska pracy wyposażonego w pedały do parametrów antropometrycznych i możliwości siłowych pracowników.

Praca na stanowisku wyposażonym w pedały powinna być wykonywana w takiej pozycji, aby:

- oparcie siedziska było odchylone do tyłu pod kątem około 105°
- odległość pedału od siedziska była taka, aby kąt pomiędzy udem i podudziem wynosił około $120 \div 30^\circ$
- pedał ustawiony był prostopadłe do podudzia
- przy pracy ciągłej siła na pedale nie powinna być większa niż 166 N dla mężczyzn i 99 N dla kobiet.

PIŚMIENNICTWO

[1] Szubert Z., Sobala W., Orszanowska B. *Analiza zdrowotnych przyczyn absencji chorobowej pracowników w poszczególnych branżach gospodarki narodowej*. IMP, Łódź 1999

Tabela 2
TYPY ANALIZOWANYCH STANOWISK PRACY

| Nazwa stanowiska | Liczba stanowisk pracy (łącznie 10) | Ocena kąta w stawie kolanowym |
|---|-------------------------------------|-------------------------------|
| Montaż mierników elektrycznych | 1 | akceptowalne |
| Montaż małych elementów elektrycznych sprzętu gospodarstwa domowego | 4 | prawidłowe |
| Lekarz stomatolog – praca w pozycji siedzącej | 2 | akceptowalne |
| Kierowca samochodów osobowych | 2 | nieakceptowane |
| Motorniczy metra | 1 | akceptowalne |



