

Izabela WOLAŃSKA, Koło Naukowe Biomechaniki przy Katedrze Mechaniki Stosowanej Politechniki Śląskiej w Gliwicach,

Wojciech WOLAŃSKI, Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Śląska w Gliwicach

ERGONOMIA PRACY PRZY KOMPUTERZE W ASPEKTCIE OBCIĄŻEŃ KRĘGOSŁUPA

Streszczenie. Przedstawione badania modelowe obejmują ergonomiczne aspekty pracy przy komputerze, która charakteryzuje się dużą monotonością. Operator przebywający przez dłuższy czas na stanowisku komputerowym poddaje układ szkieletowo-mięśniowy permanentnemu obciążeniu o charakterze statycznym. Stosując prosty model, który posłużył do obliczenia wartości sił działających na stanowisku, zaprezentowano sposoby zmniejszenia skutków długiego przebywania w takich warunkach pracy.

1. WSTĘP

Praca z komputerem jest pracą bardzo precyzyjną, w związku, z czym wymaga unieruchomienia postawy przez wzmożone napięcie mięśniowe. Wymusza to na użytkowniku spędzanie kilku, czasem kilkunastu godzin w prawie niezminiającej się pozycji. Stanowi to duże obciążenie dla mięśni utrzymujących ciało w pozycji siedzącej, mięśni stabilizujących kręgosłup, mięśni ramion i rąk oraz mięśni karku utrzymujących pionowo głowę. Przedłużony w pozycji siedzącej nacisk mięśni na naczynia krwionośne staje się powodem zmniejszenia przepływu krwi oraz przyspiesza zmęczenie mięśniowe. Długo utrzymywana pozycja siedząca może również doprowadzić do zwyrodnienia stawów, zapalenia pochewek ścięgniętych i bólów kręgosłupa [1]. W tabeli 1 zaprezentowano prawdopodobne dolegliwości, które mogą wystąpić u osób przebywających przez dłuższy czas w wymuszonych postawach.

Tabela 1. Wymuszone postawy ciała a umiejscowienie dolegliwości [3]

Wymuszone postawy	Prawdopodobne miejsca dolegliwości
Stanie w jednym miejscu	Podudzia, stopy (możliwe zylaki i puchnięcie nóg), odcinek lędźwiowy, mięśnie prostowniki grzbietu
Siedzenie bez podparcia grzbietu	Mięśnie prostowniki grzbietu
Siedzenie zbyt wysokie	Kolana, łydki, drętwienie nóg
Siedzenie zbyt niskie	Barki, szyja region lędźwiowy
Tułów pochylony ku tyłowi	Region lędźwiowy (degeneracja dysku międzykręgowego)
Głowa nadmiernie pochylona	Region szyjny (degeneracja dysku międzykręgowego)
Ramiona wygięte ku przodowi lub na boki, czy ku górze	Region szyjno-barowy, staw ramienny, ramię
Nienaturalne chwytaki ręki lub nienaturalne trzymanie narzędzia	Przedramię, nadgarstek (stany zapalne ścięgien)
Każda pozycja z przykurczem mięśni	Zaangażowane mięśnie

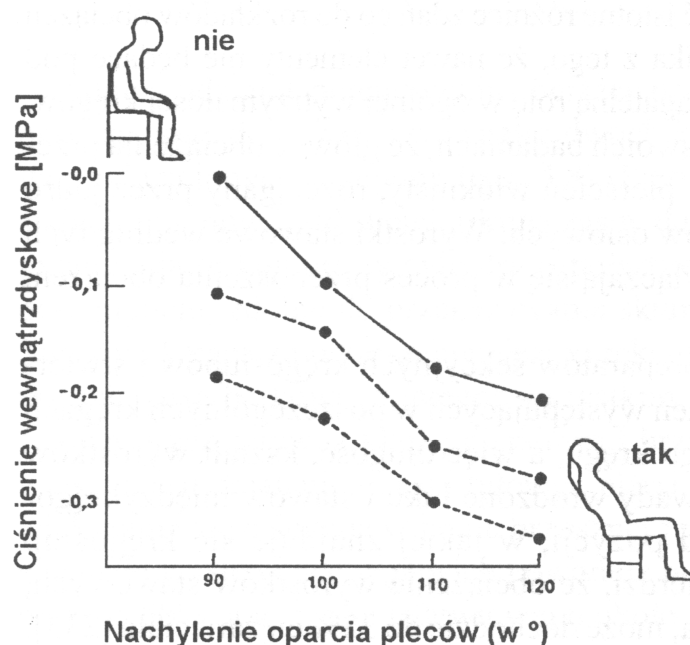
W związku z powyższym, podstawową sprawą jest uwzględnienie w czasie projektowania stanowiska pracy podstawowych zasad ergonomii. Nieuwzględnienie tych zasad może spowodować pojawienie się dolegliwości zdrowotnych, a także z ekonomicznego punktu widzenia - obniżenie wydajności pracy.

2. ANALIZA OBCIĄŻEŃ KRĘGOSŁUPA PODCZAS PRACY

W analizie przeciążeń kręgosłupa oraz ocenie warunków pracy, czy też prowadzenia badań jest istotne opracowanie uproszczonych modeli umożliwiających wyznaczenie nawet szacunkowych obciążeń poszczególnych jego części. Zwykle zastosowanie znajdują modele uproszczone, gdyż odtworzenie pełnego, rzeczywistego modelu obciążeń kręgosłupa jest niemożliwe, a wówczas jest możliwa ocena relacji między założonymi funkcjami, a obciążeniami oraz ich skutkami.

W literaturze istnieje wiele różnych modeli obciążeniowych kręgosłupa. Dominują modele wykorzystujące równania równowagi sił i momentów względem przyjętego punktu lub płaszczyzny. Modele te, z racji przyjętych znacznych uproszczeń, stwarzają szanse wyznaczania szacunkowych wartości obciążeń.

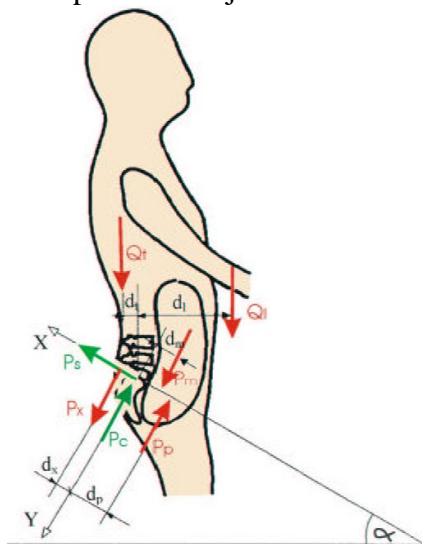
Nachemson określił obciążenie kręgosłupa na poziomie lędźwiowym dla różnych pozycji ciała, a także różnych czynności. Wyniki swoich badań przedstawił w postaci zależności zmian ciśnienia występującego w krążkach międzykręgowych na poziomie L2-L5 od pozycji ciała. Odniesieniem stanowiła wartość 100% dla pozycji stojącej. Interesujące dane uzyskano podczas pozycji siedzącej. Ma to istotne znaczenie w ergonomii prac, tzw. siedzących. Badano zmiany kąta odchylenia tułowia pod ciśnieniem w krążkach. Celem badań było określenie wpływu parametrów geometrycznych siedziska, tzn. zmian kąta odchylenia podparcia pleców, w powiązaniu z ciśnieniem w krążkach międzykręgowych. Wykazano, iż najmniejsze ciśnienie w krążkach międzykręgowych odcinka lędźwiowego występuje, gdy kąt odchylenia wynosi 120° (Rys.1) [2].



Rys.1. Wpływ zmian pochylenia pleców podczas siedzenia na zmiany ciśnienia w krążku międzykręgowym [2]

2.1. Analiza obciążeń kręgosłupa podczas pracy przy komputerze

Do analizy obciążenia kręgosłupa podczas pracy przy komputerze posłużono się modelem Stotte'a, który został opisany w pracy [2]. Założeniem modelu Stotte'a jest to, że środek ciała pokrywa się ze środkiem ciężkości ciała, który jest podstawą do przyjmowania obciążeń działających na kręgosłup sił i obciążeń w rejonie danego kręgu. Na rysunku 2 przedstawiono warunek równowagi obciążeń w rejonie kości krzyżowej i kręgu L5 dla pozycji kręgosłupa. Umożliwia to analizę składowych sił działających na kręg w płaszczyźnie krążka międzykręgowego L5-S1 oraz prostopadle do niej.



Rys.2. Model obciążeniowy kręgosłupa wg Stotte'a [2]

Dla pozycji przedstawionej na rys.2 w stanie równowagi statycznej jest możliwe zapisanie następujących równań:

$$P_x d_x + P_p d_p = Q_l d_l + Q_t d_t + P_m d_m \quad (1)$$

$$P_c = (Q_l + Q_t) \cos \alpha + P_x - P_p + P_m \quad (2)$$

$$P_s = (Q_l + Q_t) \sin \alpha \quad (3)$$

gdzie:

P_p - siła pochodząca od ciśnienia jamy brzusznej (70 mmHg – 9,35 kN/m² działa na czynnej powierzchni $S = 0.035 \text{ m}^2$ i wywołuje siłę - 326 N),

P_m - składowa siły wzdłużnej mięśni brzucha - 75 N,

P_x - siła prostowników grzbietu,

P_s, P_c - składowe siły w krążku międzykręgowym,

Q_t - siła ciężkości tułowia,

Q_l - siła ciężkości kończyn górnych,

α - kąt pochylenia kości krzyżowej do poziomu,

d_m - ramię działania siły wzdłużnej mięśni brzucha - 10 cm,

d_p - ramię działania siły pochodzącej od ciśnienia jamy brzusznej - 9cm,

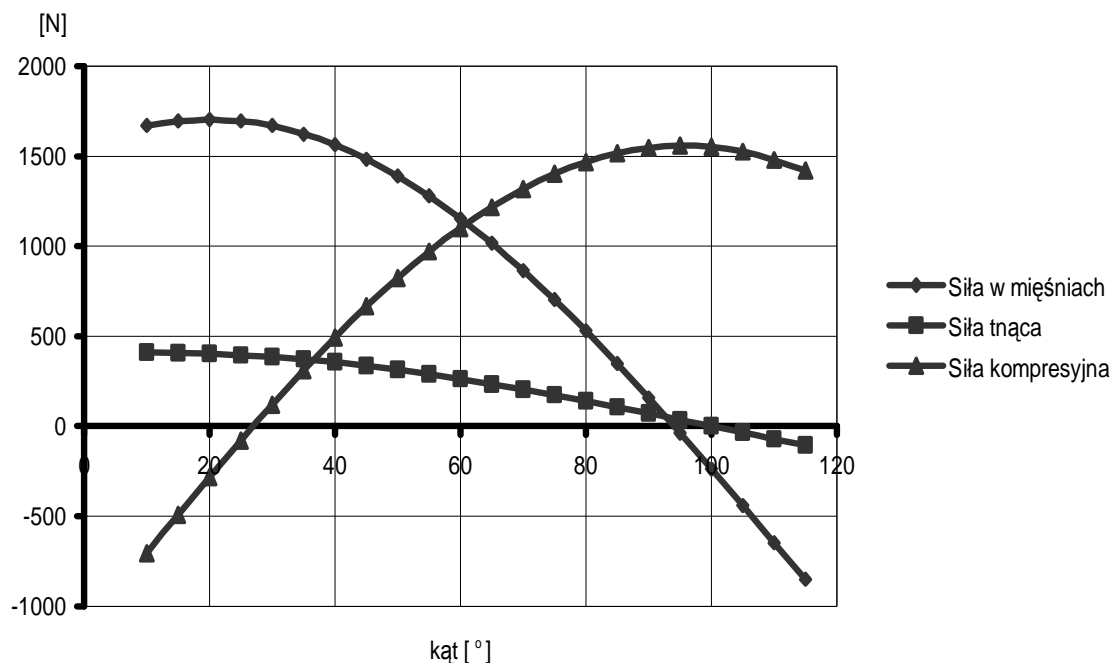
d_x - ramię działania siły prostowników grzbietu - 4,8 mm,

d_t - ramię działania siły ciężkości tułowia,

d_l - ramię działania siły ciężkości kończyn górnych.

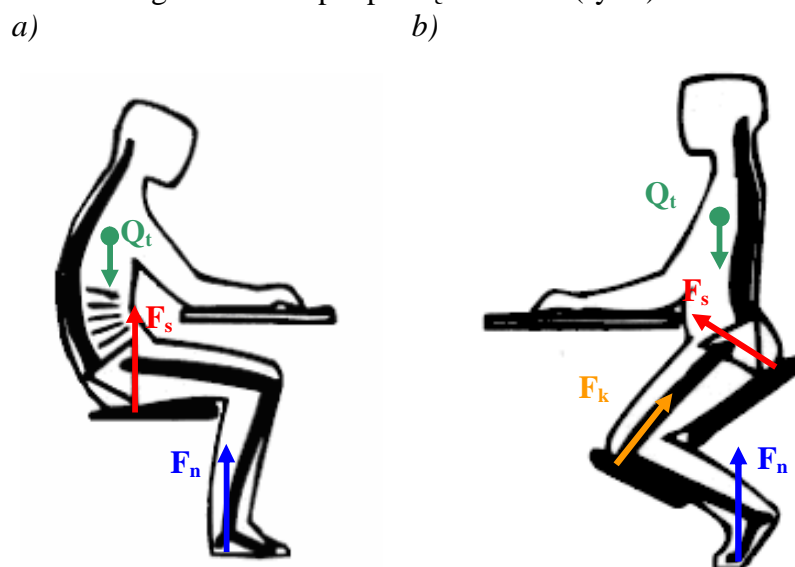
Równania 1-3 umożliwiają wyznaczenie sił, które działają na kręgosłup na poziomie L5-S1 w zależności od kąta pochylenia tułowia. Na rysunku 3 przedstawiono wykresy sił występujących w krążku międzykręgowym na poziomie L5-S1 i sił mięśni grzbietu od

nachylenia tułowia. Przedstawione przebiegi sił wyznaczono dla mężczyzny o masie ciała 76 kg i 180 cm wzrostu.



Rys.3. Wykres sił działających na poziomie L5-S1 w zależności od kąta pochylenia tułowia

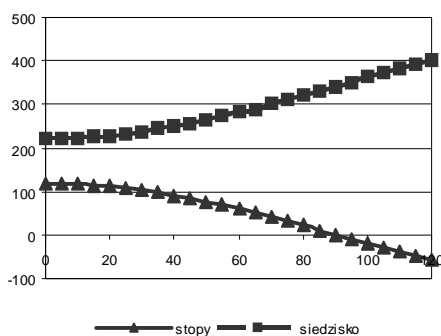
Z wykresów przedstawionych na rysunku 3 wynika, że najbardziej optymalną pozycją jest lekkie odchylenie tułowia, który tworzy kąt 95° z poziomem. W takim położeniu siły mięśni grzbietu są minimalne oraz siła tnąca w krążku międzykręgowym L5S1 nie występuje. Natomiast znaczne wartości siły ściskającej działającej na ten krążek nie powodują przeciążeń, gdyż nie przekraczają fizjologicznej wytrzymałości. Można przyjąć, że taka pozycja odciąża nasz kręgosłup, narażony na duże obciążenia podczas wielogodzinnej pracy przy komputerze. Jednak należałoby określić, jakie siedzisko zapewni dobrą i prawidłową postawę przy pracy. Analizie poddano dwa rodzaje siedzisk: pierwsze płaskie stosowane w klasycznych fotelach biurowych, natomiast drugie ukośne z podpórką dla kolan (rys.4).



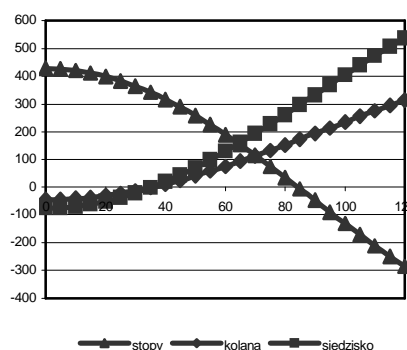
Rys.4. Oddziaływania siedziska na operatora podczas pracy przy komputerze:
a) na siedzisku płaskim, b) na siedzisku skośnym

W rozważaniach nad walorami siedzisk wzięto pod uwagę reakcje siedziska oraz podłoża wywołanych siłą ciężkości. Z warunków równowagi sił przedstawionych na rysunku 4 można określić wartości reakcji w zależności od kąta pochylenia tułowia, które przedstawiono na rysunku 5.

a)



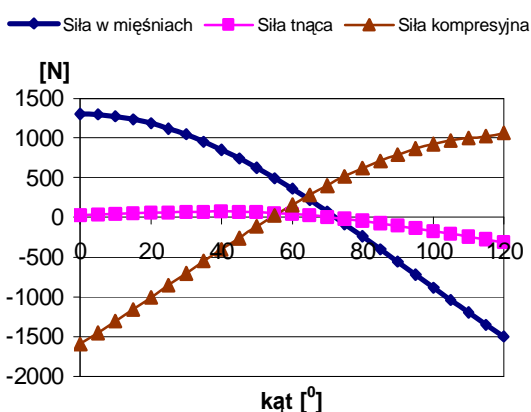
b)



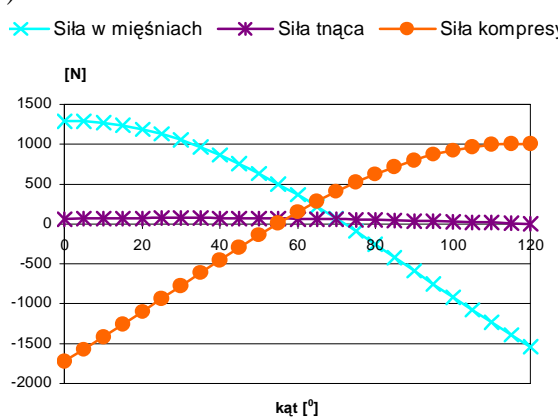
Rys.5. Wykres reakcji siedziska na operatora podczas pracy przy komputerze:
a) na siedzisku płaskim, b) na siedzisku skośnym

Z wykresów przedstawionych na rysunku 5 wynika, że przy tym samym kącie nachylenia tułowia występują znaczne różnice pomiędzy reakcjami. Porównując jednak ich wartości dla wyprostowanego tułowia (95° z poziomem) można zauważyć, że dla płaskiego siedziska reakcja (350N) jest większa niż w przypadku siedziska ukośnego (330N). Jednak ta różnica jest kompensowana przez reakcje działające na kolana (173N), przy podobnych reakcjach działających na stopy. Z dokonanego porównania sił reakcji występujących na analizowanych siedziskach nie można jednoznacznie określić, które z nich jest ergonomiczniejsze tzn., które potrzebuje mniejszy wydatek energetyczny dla pozycji siedzącej. Dlatego podjęto analizę obciążeń kręgosłupa w układzie z siedziskami uwzględniając ich reakcje. Stosując prosty aparat matematyczny wzorowany na modelu Stotte'a wyznaczono siły mięśni grzbietu i siły występujące w krążku międzykręgowym. Wyniki tej analizy przedstawiono na rysunku 6 dla różnych wartości kąta nachylenia tułowia.

a)



b)



Rys.6. Wykres sił obciążających kręgosłup w zależności od kąta pochylenia tułowia:
a) na siedzisku płaskim, b) na siedzisku ukośnym

Otrzymane wartości obciążenia kręgosłupa w układzie z siedziskiem porównano z wartościami otrzymanymi na podstawie modelu Stotte'a. W tabeli 2 zestawiono otrzymane wyniki w przypadku zgięcia tułowia o kąt 95° względem podłoża. W pozycji tej, która była

najbardziej ergonomiczną w postawie stojącej, najmniejsze obciążenie kręgosłupa występuje w układzie z siedziskiem ukośnym. Natomiast w układzie z siedziskiem płaskim występują znaczne siły tnące działające na krążek międzykręgowy. Należy jednak zaznaczyć, że w pozycji siedzącej występują mniejsze siły ściskające działające na krążki międzykręgowe w odcinku lędźwiowym niż w pozycji stojącej.

Tabela 2. Wartości sił działające na kręgosłup przy 95^0 zgięcia tułowia

wg Stotte'a	Siedzisko płaskie	Siedzisko ukośne
$P_x = 200 \text{ N}$	$P_x = 650 \text{ N}$	$P_x = 600 \text{ N}$
$P_c = 1557 \text{ N}$	$P_c = 866 \text{ N}$	$P_c = 865 \text{ N}$
$P_s = 35 \text{ N}$	$P_s = 130 \text{ N}$	$P_s = 30 \text{ N}$

3. WNIOSKI

Pozycja siedząca charakteryzuje się dużą stabilizacją tułowia, odciążeniem kończyn dolnych, a także odciążeniem kręgosłupa. Jednak długotrwałe przyjmowanie nawet najwygodniejszej pozycji, może być dla pracownika uciążliwe, a nawet powodować wiele dolegliwości. Z przedstawionej analizy wynika, że należy rozważać także problem rodzaju krzesła, które pracownik będzie użytkował podczas pracy przy komputerze, a które ma bezpośredni wpływ na stan obciążenia kręgosłupa. W świetle uzyskanych wyników dobrze jest stosować siedzisko ukośne, które zapobiega przemieszczaniu się miednicy w niekorzystne tylne położenie. Takie położenie miednicy jest przyczyną garbienia i kulenia się przy pracy, co w następstwie powoduje, że krążki międzykręgowe są obciążone nierównomiernie (powstaje siła tnąca). Ścinanie dysków sprawia, że ich galaretowate jądro wypychane jest do tyłu i może uciskać korzonki nerwowe, wywołując bolesną rwę kulszową.

Przedstawione przesłanki o walorach ergonomicznych siedzisk ukośnych są podstawą do dalszych badań. Należałoby przeprowadzić badania elektromiograficzne napięcia mięśni w układach z siedziskami, jak również z uwzględnieniem oparcia. Taka pełna analiza pozwoliłaby określić, które z siedzisk jest bardziej ergonomiczne do pracy przy komputerze.

LITERATURA

- [1] Bałogowska A., Malinowski A.: Ergonomia dla każdego. Wydawnictwo Sorus S.C. Poznań 1997.
- [2] Będziński R.: Biomechanika inżynierska. Zagadnienia wybrane. Oficyna Wyd. Pol. Wrocławskiej, Wrocław 1997.
- [3] <http://galaxy.uci.agh.edu.pl/~ergonom/ergonomia/>

ERGONOMICS OF WORK WITH COMPUTER IN ASPECT OF LOADS IN SPINE

Abstract. Presented modelling investigation contain the ergonomic aspects of work with computer. Operator's skeletal and muscular systems submit permanent static loads. The simple model was used to estimate values of forces. Obtained results were used to determine methods to reduce effect of this work.