

HOMO SEDENTARIUS: ZGUBNE SKUTKI OGRANICZENIA AKTYWNOŚCI FIZYCZNEJ

HOMO SEDENTARIUS: DEVASTATING CONSEQUENCES OF PHYSICAL INACTIVITY

Andrzej Ziemba

Zakład Fizjologii Stosowanej, Instytutu Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej, im. M. Mossakowskiego,
Polska Akademia Nauk

Streszczenie

Genom człowieka kształtował się w pradziejach człowieka, w sytuacji deficytu energetycznego, spowodowanego koniecznością intensywniej aktywności fizycznej oraz częstego głodu. Cywilizacja współczesna wykształciła człowieka siedzącego - homo sedentarius, którego najbardziej charakterystyczną cechą jest zaburzenie bilansu energetycznego organizmu – przewagi podaży energii nad jej wydatkowaniem. Jest znamienne, że u osób prowadzących siedzący tryb życia zagrożenie chorobami cywilizacyjnymi jest znacznie wyższe niż aktywnych fizycznie. Osoby najmłodsze z niskim masą ciała są najbardziej wydolne fizycznie i odwrotnie najmniej wydolne są osoby otyłe w każdej grupie wiekowej. Wynika z tego, że aktywność fizyczna jest silnym czynnikiem regulującym masę ciała, niezależnie od wieku. Brak aktywności fizycznej wraz z nadmierną podażą energii prowadzi do zaburzenia bilansu energetycznego organizmu. Jest to przyczyną hipertrofii i hiperplazji tkanki tłuszczowej co doprowadza do uruchomienia w organizmie kaskady niekorzystnych zdarzeń: 1. dyslipidemii, 2. hiperinsulinemii, hiperglikemii (rozwoju cukrzycy), 3. nadciśnienia tętniczego i 4. nadkrzepliwości krwi. Z kolei efekty wzmożonej aktywności fizycznej obejmują zwiększony wydatek energetycznego i szereg korzystnych zmian fizjologicznych. Z drugiej strony drastyczne ograniczenie aktywności fizycznej i dłuższe pozostawanie w pozycji leżącej wywołuje skutki odwrotne, których zakres zależy od czasu unieruchomienia. Występuje m. in. wzmożona diureza prowadząca do utraty elektrolitów, zmniejsza się siła i masa mięśni, obniża się tolerancja węglowodanów, obniża się tolerancja wysiłku. Tempo obniżania się maksymalnego pobierania tlenu zależy od wartości wyjściowej w chwili unieruchomienia i jest tym większe im wyższa jest ta wartość. Podsumowując: zwraca uwagę zgodny kierunek zmian wskaźników fizjologicznych w procesie starzenia się organizmu i pod wpływem unieruchomienia. W obu tych sytuacjach zmiany są odwrotne do tych, które następują pod wpływem regularnej aktywności fizycznej.

Słowa kluczowe: aktywność fizyczna, wydolność fizyczna, otyłość, unieruchomienie, czynniki ryzyka chorób

Abstract

High-level of physical activity and hunger resulting in energy deficits shaped the genome of our ancestors. In modern times, the sedentary man, homo sedentarius share disruption to their energy balance where the energy supply exceeds its expenditure. Evidently the higher incidence of cardiovascular and metabolic diseases is recorded in the societies with low physical activity level. The youngest people with the lowest BMI have the highest exercise capacity while the overweight people in every age display the lowest exercise capacity values. Thus, physical activity is a strong factor which regulates body mass independently from age. Sedentary style of life is a key factor which, together with energy surplus, leads to disruption of the body energy balance. That is the direct cause of adipose tissue hypertrophy and hyperplasia, which, triggers adverse events: 1. dyslipidaemia, 2. hyperglycaemia (and diabetes as a result), 3. arterial hypertension and 4. blood hypercoagulability. It is noteworthy that the benefits of regular exercise involve an increase in energy expenditure and a range of favourable physiological changes. On the other hand drastically reduced physical activity creates opposite changes which extent is contingent on bed rest duration. During immobilisation we observe enhanced diuresis, loss of electrolytes, decreased muscle mass loss and power, carbohydrate intolerance, and decreased maximal oxygen uptake. Exercise capacity decrease depends on the baseline value at the outset of bed rest. To sum up, consistent the direction of changes in physiological indices is in the process of ageing and during bed rest. The changes that are observed in both of these situations are quite the opposite to what is induced by regular physical activity.

Key words: physical activity, physical fitness, obesity, bedrest, risk factors

Wprowadzenie

Według wielu teorii przyczyna rozpowszechnienia chorób zwanych dzisiaj cywilizacyjnymi tkwi w pradziejach gatunku człowieka.

Problemem człowieka pierwotnego było zdobywanie pożywienia. W społeczeństwach pierwotnych udane polowania i zdobycie większej ilości pokarmu

było wielkim hucznie celebrowanym świętem. Trzeba z całą mocą podkreślić, że życie człowieka pierwotnego zmuszało go do dużej aktywności fizycznej aby zdobyć pożywienie, ale często nie był na tyle sprawny i szybki żeby je zdobyć. Zatem często bywał głodny. W konsekwencji z fizjologicznego punktu widzenia jego cechą było częste narażenie na deficyt ener-

tyczny w czym paradoksalnie w dzisiejszych czasach rozpatruje się jako sytuację korzystnie wpływającą na stan zdrowia i przedłużającą życie. Zatem sytuacja deficytu energetycznego wytworzonego przez konieczność prowadzenia aktywności fizycznej na wysokim poziomie oraz częsty głód kształtowały genom naszych prapraprzodków, czego skutkiem jest nieprzystosowania dzisiejszego człowieka do zgoła przeciwnych warunków.

W istocie współcześnie stworzyliśmy jak to określił Alwin Tofler cywilizację pudełek – pudełka mieszkania, samochodu i biura gdzie jesteśmy zamknięci i pozbawieni aktywności fizycznej równocześnie kultywując wręcz skłonność do przejadania się.

Staliśmy się leniwi, a nawet wielu ludzi udających aktywność z ochotą korzysta z ułatwień cywilizacji. W internecie swego czasu popularność zdobyło zdjęcie wejścia do studia fitness. Przedstawia ono mężczyzn korzystających ze ... schodów ruchomych pomimo, że sąsiadowały one ze schodami tradycyjnymi. Przedstawiona na tym zdjęciu sytuacja jest oczywistą obrazą rozumu człowieka. W istocie bowiem stworzyliśmy nowy gatunek człowieka, który wbrew swojemu dziedzictwu genetycznemu jest *człowiekiem siedzącym* – *homo sedentarius*. Nazwę tą wprowadził wybitny polski fizjolog, mój mistrz naukowy prof. Stanisław Kozłowski. Obecnie gatunek ten stopniowo przekształca się w *człowieka komputerowego* – *homo computerus*. Wszak już od dzieciństwa dzieci i młodzież spędza więcej czasu przed ekranem komputera niż na zabawach, które związane są z ruchem.

Obecnie uważa się, że na czynniki decydujące o zdrowiu i czasie życia składają się predyspozycje genetyczne, czynniki środowiskowe oraz styl życia obejmujący wartość energetyczną i rodzaj diety oraz aktywność fizyczną. Warto podkreślić, że zdaniem wielu badaczy ewentualny negatywny wpływ genomu nie wisi nad nami jak miecz Damoklesa i może być zminimalizowany przez właściwy styl życia.

Podaż energii w diecie.

Najbardziej charakterystyczną cechą nowego gatunku człowieka jest zatem zaburzenie bilansu energetycznego organizmu – przewagi podaży energii nad jej wydatkowaniem. Nie trzeba wielkich studiów naukowych aby zauważyć, że ilość incydentów naczynio-krażeńiowych jest bardzo wysoka, a zapadalność na choroby metaboliczne i nowotwory jest wyższa w społeczeństwach, w których panuje tak zwana w piśmiennictwie naukowym „*western diet*”. Obserwacje taką potwierdzają liczne badania z zastosowaniem diety o zwiększonej zawartości węglowodanów i tłuszczów („*coffeteria diet*”). Dla przykładu 5-cio osobowa, trzypokoleniowa rodzina w Polsce spożywa znacznie więcej produktów niż 12 osobowa rodzina egipska na dietę, której w znacznej mierze składają się produkty

roślinne, warzywa i owoce. Nie jest więc chyba dziełem przypadku, że w tym społeczeństwie zapadalność na nowotwory i choroby układu krążenia jest mniejsza niż w Polsce. Oczywiście do takich swobodnych porównań nie należy zaliczać bardzo biednych społeczeństw. W wielu krajach na świecie panuje głód, śmiertelność jest tam wysoka a czas życia krótki, głównie z powodu infekcji, niedostatecznej opieki medycznej i trudnego dostępu do lekarza, rzadziej z powodu nowotworów czy chorób układu krążenia. Jest rzeczą oczywistą, że przedstawione powyższe rozważania nie są dowodem naukowym na poparcie tezy, że rodzaj i ilość spożywanych pokarmów determinuje czas i jakość życia. Trzeba jednak przyznać, że ilustrują one pewną zależność pomiędzy dietą a przyczynami zgonów w rozmaitych populacjach. Na zakończenie tej części warto również dodać, że w Warszawskim szpitalu na Czerniakowie w 1945 r nie zanotowano zgonu z przyczyn sercowo-naczyniowych. W następnych latach śmiertelność z tego powodu stopniowo wzrastała...

Wydatek energetyczny.

Dzisiaj już nie ulega żadnej wątpliwości, że regularna aktywność fizyczna, nawet na poziomie rekreacyjnym wpływa korzystnie na stan zdrowia. Zainteresowanie znaczeniem wysiłku fizycznego w kształtowaniu wskaźników fizjologicznych rozpoczęło się po II wojnie światowej w połowie XX wieku. Przełomowym badaniem w myśleniu i podejściu do fizjologii wysiłków fizycznych była praca Morrisai wsp. [1], którzy porównali częstość zawałów serca u pracowników transportu miejskiego w Londynie – konduktorów i kierowców. Autorzy Ci wykazali, że zawały serca występują kilkakrotnie rzadziej u konduktorów, których praca polegała na chodzeniu w porównaniu z kierowcami autobusów, który cały czas w pracy pozostają w pozycji siedzącej. W ślad za tym Morris obliczał ryzyko śmierci z przyczyn naczynio-krażeńiowych w trzech grupach osób w średnim wieku. Jak się okazało najwyższym ryzykiem obarczone były osoby nieaktywne, nieco mniejszym o aktywności umiarkowanej, natomiast najmniejsze ryzyko u osób najbardziej aktywnych. Jednak na duże kompleksowe badania dotyczące wpływu aktywności na czas życia trzeba było czekać stosunkowo długo, bo do roku 1986 powstała klasyczna już praca Paffenbargera i wsp. [2], która zostanie omówiona na końcu niniejszego opracowania.

Wyniki pionierskich badań Morrisa i wsp. są do dzisiaj potwierdzane w licznych badaniach. Nawet pobieżna analiza zależności pomiędzy zdolnością do wysiłku mierzoną maksymalnym pobieraniem tlenu (VO_{2max}) w wybranych grupach etnicznych a częstością występowania chorób naczynio-krażeńiowych wykazuje wysoką zapadalność na choroby krążeniowo metaboliczne występuje w społeczeństwach, których przedstawiciele są mało aktywni fizycznie – Amery-

kanie, Anglicy, Polacy (Tabela 1). Natomiast w społeczeństwach, które z racji na swój styl życia są aktywne (Indianie, Pigmeje, Buszmeni), czy w wybranych grupach społeczeństw europejskich gdzie panuje wysoka kultura fizyczna choroby takie występują w znacznie mniejszym stopniu. Ciekawą pozycję w tym zestawieniu reprezentują nieaktywni przedstawiciele Kurdów – ich wydolność jest stosunkowo wysoka, choroby cywilizacyjne występują stosunkowo rzadziej. W tym zestawieniu należy również zwrócić uwagę na fakt, że wartości pułapu tlenowego zostały przedstawione w ml/kg/min pobieranego z powietrza tlenu, a więc różnice w masie ciała poszczególnych grup zostały niejako zestandaryzowane.

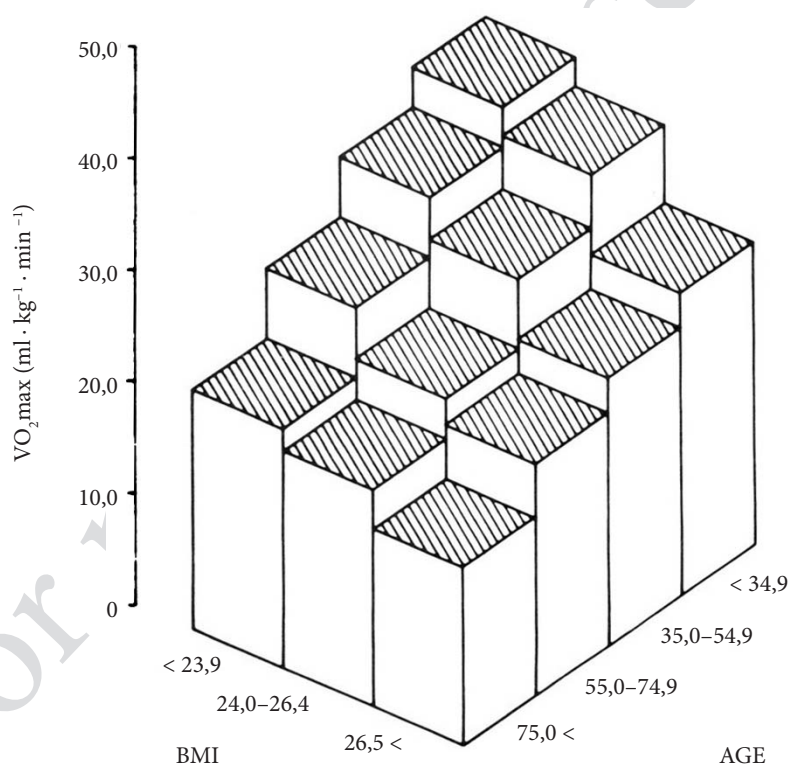
Tab. 1. Zdolność do wysiłku (VO_{2max} – ml/kg/min) w wybranych populacjach. Kolorem czerwonym oznaczono populacje o wysokiej częstotliwości występowania choroby niedokrwiennej serca.

Populacja	VO_{2max}
Indianie Tarahumaras	62,9
Szwedzi (aktywni)	52,0
Buszmeni	47,9
Pigmeje	47,4
Kurdowie (nieaktywni)	44,4
Anglicy (nieaktywni)	40,8
Polacy (nieaktywni)	39,3
Amerykanie (nieaktywni)	37,6

Wbrew pozorom udowodnienie, że wzmożona aktywność fizyczna wpływa na wskaźniki fizjologiczne

podczas procesu starzenia się nie jest łatwym zadaniem. Wynika to z szeregu zależności pomiędzy aktywnością fizyczną (wydolnością fizyczną), procesem starzenia się organizmu, masą ciała i ich wpływem na rozmaite wskaźniki fizjologiczne. Ilustrują to wyniki badań przeprowadzonych na ponad 1000 uczestnikach Baltimore Longitudinal Study on Aging [3]. Z ryciny 1 wynika, że w każdej z czterech grup wiekowych masa ciała zmniejsza się stopniowo w zależności od stopnia wydolności fizycznej mierzonej maksymalnym pobieraniem tlenu wyrażanym co, ważne w przeliczeniu na kg masy ciała. Tym samym osoby z najniższym BMI i najmłodsze są równocześnie najbardziej wydolne fizycznie i odwrotnie najmniej wydolne są osoby z lekką nadwagą i najstarsze. Proces starzenia się niezależnie wpływa na masę ciała, aktywność fizyczną i wskaźniki fizjologiczne. Z kolei aktywność fizyczna lub jej brak modyfikuje masę ciała. Wyniki te wydają się dzisiaj oczywiste. Wiadomo dzisiaj, że pułap tlenowy zależy od kilku czynników, wieku, płci oraz aktywności fizycznej. Zmniejsza się wraz wiekiem, jest niższy u kobiet i co warto zapamiętać w każdym wieku podjęcie aktywnego trybu życia prowadzi do zwiększenia pułapu tlenowego. Należy jednak zwrócić uwagę, że rycina 1 nie obejmuje osób otyłych, jedynie te poniżej normy, będące w normie i z lekką nadwagą. Jest to jedynie przykład na kolejny z wielu dowodów potwierdzających twierdzenie, że aktywność fizyczna jest silnym czynnikiem regulującym masę ciała.

Trzeba w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że wiek 18-30 lat jest kluczowy w kształtowaniu pułapu tlenowego i osiągnięty w tym przedziale pułap tlenowy



Ryc. 1. Zależności pomiędzy poziomem wydolności fizycznej (VO_{2max}), Wskaźnikiem Masy Ciała (BMI) a wiekiem

determinuje w znacznym stopniu zdolności wysiłkowe w późniejszych latach do późnej starości włącznie. Oczywiście, jest, że podjęcie przez osoby prowadzące siedzący tryb życia w każdym wieku spowodują zwiększenie ich zdolności wysiłkowej. Fakty te należy podkreślać z całą mocą, ponieważ mają znaczenie nie tylko w pozytywnym kształtowaniu wskaźników fizjologicznych ale ogrywają fundamentalne znaczenie w kształtowaniu samodzielności i samoobsługi osób w podeszłym wieku.

Zaburzenie bilansu energetycznego – otyłość

Największe pożądanie badaczy zajmujących się otyłością budzą Indianie Pima – najbardziej otyła grupa etniczna na świecie. Pimowie od najdawniejszych czasów byli ludem osiadłym. Uprawiali fasolę, kukurydzę, dynię i inne warzywa. W dawnych czasach zaczęli uprawiać zboże i hodować bydło. Plemię to rozdzieliło się kilkaset lat temu i część z nich zamieszkuje Arizone, część zaś przeniosła się do Meksyku. W USA otrzymali finansowe wsparcie rządu i przyjęli amerykański styl życia, nie uprawiają ziemi, w żywność zaopatrują się w super marketach. Nie są aktywni fizycznie. W rezultacie aż połowa populacji cierpi na cukrzycę. Tymczasem meksykańscy Pima prowadzący tradycyjnie trudne życie w górach Sierra Madre, zajmują się uprawą ziemi i niemal nie mają problemów z tą cywilizacyjną chorobą. Amerykańscy Indianie Pima są modelowym przykładem nie tylko prymatu stylu życia nad predyspozycjami genetycznymi, ale przede wszystkim fatalnego wpływu nieprawidłowej diety i braku aktywności fizycznej.

Jedną z głównych konsekwencji skojarzenia braku aktywności ruchowej i nadmiernej podaży energii jest dodatni bilansu energetycznego organizmu. Ich skutkiem jest hipertrofia i hiperplazja tkanki tłuszczowej. W konsekwencji uruchomiona zostaje kaskada szeregu niekorzystnych zdarzeń. Najogólniej przebiegają one w czterech szlakach prowadzących do 1; dyslipidemii, 2; hiperglikemii (w rezultacie do cukrzycy), 3; nadciśnienia tętniczego i 4; nadkrzepliwości krwi.

Nadmierna ilość tkanki tłuszczowej prowadzi do zaburzeń w przemianach wolnych kwasów tłuszczowych (WKT) i wzrostu ich stężenia w krwi żyły wrotnej wątroby. Przyczynia się to do podwyższenia lipoprotein osocza krwi i zwiększenia tempa glukoneogenezy. Skutkiem opisanych zjawisk jest dyslipidemia. Najczęstszym zjawiskiem utrzymującej się przez wiele lat otyłości jest rozwój hiperinsulinemii. Utrzymywanie się tego stanu przez wiele lat upośledza funkcję komórek trzustki, co razem z utrzymującą się hiperglikemią grozi rozwinięciem cukrzycy typu II. Rozmiary tego zjawiska na świecie upoważniają do mówienia o epidemii tej choroby.

Przerost tkanki tłuszczowej sprzyja zwiększonej produkcji aldosteronu i angiotensyny II, co powoduje

aktywację układu renina-angiotensyna-aldosteron. Powoduje to m.in. wzrost reabsorpcji jonów sodu w nerkach sprzyjając rozwojowi nadciśnienia. Z drugiej strony wzrasta napięcie wegetatywnego układu nerwowego.

W otyłości obserwujemy również wzrost ekspresji czynników krzepnięcia krwi VII i V, oraz inhibitora aktywatora plazminogenu – 1 (PAI). Zmiany te wraz ze stresem oksydacyjnym prowadzą do nadkrzepliwości krwi. Wspomniane wyżej cztery czynniki w sposób współgrają ze sobą niesłychanie zgodne. Czynniki aterogenne – hiperlipidemia, hiperglikemia, nadciśnienie tętnicze przy udziale adipokinin współdziałających z makrofagami, neutrofilami, fibroblastami działają na śródbłonek naczyń i tworząc blaszkę miażdżycową stopniowo zamykają światło naczynia doprowadzając do jego zawału. W innym scenariuszu osłabiona wysokim ciśnieniem i zmianami miażdżycowymi ściana naczynia pęka doprowadzając do wylewu. Opisany obraz zmian patologicznych powstawał przez szereg lat w badaniach naukowych i przebiegał różne nazwy od „śmiertelnego kwartetu” do „śmiertelnego sekstetu” (nazwy uwzględniające ilość czynników ryzyka), aby w końcu utrwalić się w piśmiennictwie naukowym jako zespół metaboliczny.

Dlaczego wysiłek? (Peter Olof Astrand)

Czytelnika może zdziwić umieszczenie obok tytułu tej części obecnego opracowania nazwiska jednego z Ojców fizjologii wysiłków fizycznych. Otóż pragnę przypomnieć, że taki właśnie tytuł nosił artykuł przez niego opublikowany w *Medicynie Sportivie*. Niemożliwe jest dzisiaj określenie liczby publikacji traktujących o korzystnym wpływie wysiłku na zdrowie. Jest niezaprzeczalnym faktem podręcznikowym, że zwiększenie dobowego wydatku energii prowadzi do zapobiegania i odwrócenia opisanych powyżej zmian. Wymienię je jedynie dla porządku. Otóż systematyczna aktywność fizyczna, nawet na poziomie rekreacyjnym prowadzi do:

1. Zmniejszenia ogólnych zasobów tkanki tłuszczowej, redukcji masy tłuszczu w jamie brzusznej (najbardziej „toksycznego”), zwiększenia beztłuszczowej masy ciała (mięśni). Przykładem są badania, w których skojarzenie diety wraz wysiłkami przez 16 tygodni przyniosło obniżenie całkowitej masy ciała o 11 kg, zaś tkanki tłuszczowej o 10 kg (różnica wynika z przyrostu masy mięśniowej o 1 kg).
2. Poprawy tolerancji węglowodanów i zwiększenia wrażliwości mięśni na insulinę (a stanowią one około 40 % masy ciała). Z badań Reuch i wsp. [4] wynika wysoka dodatnia zależność (współczynnik korelacji $r = 0,822$, $p = 0,0001$) pomiędzy $VO_2 \max$ a tempem eliminacji glukozy z krwi. Z wielu badań wynika, że krzywe glikemii i insulinemii u osób prowadzących siedzący tryb życia podczas standardowego testu doustnej tolerancji glukozy (OGTT – 75 g glukozy

w roztworze 200 ml) przebiegają na niższym poziomie niż u badanych aktywnych fizycznie. Innymi słowy glikemie i insulinemia osób aktywnych w tym teście wskazuje na lepszą tolerancję glukozy. Opisane procesy znajdują uzasadnienie w mechanizmach odbywających się na poziomie komórki. Wysiłek fizyczny powoduje zwiększenie ilości aktywnych transporterów glukozy GLUT-4 poprzez zwiększenie roli insuliny w ich aktywacji. Jeszcze bardziej zjawisko to jest widoczne przy porównaniu osób prowadzących siedzący tryb życia z osobami aktywnymi. W tej ostatniej grupie ilość aktywnych transporterów glukozy GLUT-4 jest znacznie większa. Tłumaczy to zwiększone tempo eliminacji glukozy z krwi u osób aktywnych. Zapobiega to hiperglikemii i zwiększa utylizację glukozy przez tkanki obwodowe przede wszystkim mięśnie.

3. Poprawa profilu lipidowego krwi. Liczne badania wskazują na korzystny wpływ regularnej aktywności fizycznej wyrażony obniżeniem wszystkich frakcji cholesterolu przy równoczesnym podwyższeniu frakcji HDL
4. Do innych korzystnych efektów wzmożonej aktywności fizycznej należy wpływ na układ hemostazy, w którym poprzez zmniejszenie zdolności do agregacji płytek i zwiększenie aktywności fibrynolitycznej osocza zmniejsza się ryzyko zakrzepów wewnątrznaczyniowych.

Zwiększa się także zdolność do usuwania wolnych rodników i obniża się wytwarzanie czynników prozapalnych.

Nie sposób jest wymienić wszystkich pozytywnych skutków wzmożonej aktywności fizycznej. W ostatnich latach w piśmiennictwie naukowym bardzo silnie zwraca się uwagę na rolę aktywności fizycznej w kształtowaniu wskaźników funkcji poznawczych i zapobieganiu chorobom neurodegeneracyjnym, z drugiej zaś strony hamowania rozwoju tych chorób i rehabilitacji u osób cierpiących na te schorzenia [5].

W tej części obecnego opracowania przedstawiono podsumowanie najważniejszych faktów związanych z siedzącym trybem życia oraz korzystnym wpływem na zdrowie wzmożonej aktywności fizycznej. Istnieją jednak sytuacje, w których człowiek zmuszony zostaje do drastycznego ograniczenia swojej aktywności i pozostaje w bezruchu przez dłuższy okres czasu. Również temu tematowi *Medicina Sportiva* poświęciła kilka opracowań.

Unieruchomienie

Obecny podrozdział opisuje sytuację odwrotną do aktywności fizycznej – skrajnego jej ograniczenia zwanego unieruchomieniem. W fizjologii często używany jest inny termin – „roztrenowanie”. Jest zrozumiałe, że każdy człowiek pozostaje w pozycji leżącej przynajmniej podczas snu. Jest to okres konieczny dla

regeneracji organizmu. Jeżeli jednak czas niezbędny do odpoczynku zostanie istotnie i nieuzasadnienie przekroczony w organizmie zachodzi szereg niekorzystnych procesów. Istnieje bogate piśmiennictwo poświęcone tej tematyce [6,7]. Wynikało to z faktu, że badania dotyczące unieruchomienia i drastycznego ograniczenia aktywności fizycznej prowadzone były przez agencje astronautyczne. Pozostawanie bowiem w pozycji leżącej prowadzi do identycznych zmian w organizmie jakie zachodzą w stanie nieważkości. Następujące cechy łączą bowiem stan nieważkości z długotrwałym przebywaniem w pozycji leżącej:

1. Brak aktywności ruchowej (hipokineza),
2. Brak działania siły ciężkości na układ kostno-mięśniowy (hipograwia),
3. Zmniejszenie różnicy ciśnień między górną i dolną połową ciała.

Wszystko to razem wyzwała szereg poważnych konsekwencji fizjologicznych, które są istotne nie tylko z punktu widzenia praktyki sportowej, ale również z poważnych konsekwencji klinicznych.

Problem długotrwałego unieruchomienia i pozostawiania w pozycji leżącej, nie jest nowy. Zalecenia lekarskie przed II wojną światową nakazywały spędzanie w połoгу 2 tygodnie, po operacji przepukliny 3 tygodnie, a po zawale mięśnia sercowego 4-6 tygodni. Jeszcze w drugiej połowie XX wieku zalecano pacjentom po przebytych zawale mięśnia sercowego wielodniowe ograniczenie aktywności ruchowej. Od tego czasu zalecenia te diametralnie się zmieniły i wczesne uruchamianie pacjentów jest obecnie jednym z podstawowych zaleceń rehabilitacyjnych.

W 1944 roku zorganizowano sympozjum pt. „Nadużywanie wypoczynku w terapii”, gdzie stwierdzono, że ilość powikłań pooperacyjnych jest dwukrotnie większa jeżeli pacjenci przebywają unieruchomieni 10 do 15 dni w porównaniu z krótkim dwudniowym pozostawianiu w pozycji leżącej. Potwierdziły to badania przeprowadzone u przedwcześnie rodzących kobiet. Analiza 39 prac dotyczących niemal 6000 pacjentów, cierpiących na 15 różnych chorób i przebywających w pozycji leżącej do 20 tygodni prowadzi do jednoznacznego wniosku ważnego z punktu widzenia terapii, że „zbyt długie unieruchomienie może być szkodliwe nigdy zaś korzystne” [8].

Znany amerykański naukowiec John Edward Grenleaf lekarz pracujący w NASA, gdzie zajmował się skutkami unieruchomienia opisał w *Medicine Sportive* przypadek Jonniego Richardzona, który na skutek konfliktu z matką przebywał w pozycji leżącej przez 50 lat. Pomijając aspekty psychologiczne tego przypadku stał się on modelowym opisem zmian fizjologicznych przy tak skrajnym i długotrwałym braku aktywności.

Nie sposób w krótkim opracowaniu wymienić wszystkie zmiany zachodzące w organizmie. Pojawiają się one już tak wcześnie, jak w 24 godziny pozostawa-

nia w łóżku. Zakres i rozległość zmian zależy od czasu pozostawania w bezczynności ruchowej. Przedstawione poniżej dane pochodzą z badań przeprowadzonych u młodych zdrowych mężczyzn na zlecenie agencji astronautycznych (NASA, MEDES – Europejska Klinika Badań Kosmicznych).

Jednym z najbardziej spektakularnych efektów unieruchomienia jest obniżenie zdolności do wysiłku i wydolności fizycznej. Obniżenie zdolności wysiłkowej wynika z większej częstości skurczów serca przy danym submaksymalnym i maksymalnym obciążeniu wysiłkowym zużyciu tlenu, natomiast zmniejszenie wydolności fizycznej manifestuje się obniżeniem maksymalnego pobierania tlenu ($VO_2\max$). U podstaw mechanizmów tego zjawiska leżą zmiany w kontroli częstości skurczów serca, pojemności wyrzutowej i różnicy tętniczo żyłnej wysycenia krwi tlenem (reguła Ficka). Zmiany te ulegają nasileniu w miarę przedłużania się pozostawania w pozycji leżącej. Różni autorzy opisują zatem wielkość obniżenia pułapu tlenowego od 5% do 35% wartości wyjściowych. Ponadto w badaniach własnych autora wykazano, że wielkość obniżenia $VO_2\max$ pod wpływem zaledwie trzech dni unieruchomienia zależy od wartości wyjściowych i jest tym większa im wyższa była wydolność badanych na początku badania. Wyniki te mają niezwykle ważne znaczenie w praktyce sportowej, w sytuacjach urazu lub choroby wymagających pozostawania w łóżku [9].

Obniżeniu zdolności wysiłkowych towarzyszy zmniejszenie masy mięśniowej i zmiany w ich strukturze. Wyrazem tego jest stwierdzany już w ciągu kilku dni unieruchomienia wzrost azotu w moczu, oznaczający przewagę procesów rozpadu białek nad ich syntezą. Jest oczywiste, że w tej sytuacji zmniejsza się beztłuszczowa masa ciała, jak również zmniejsza się siła i maksymalna moc mięśni. Atrofia mięśni przebiega w różnym tempie – jest szybsza w mięśniach dolnej połowy ciała, w kończynach w porównaniu z mięśniami rąk, przedramion i pleców. Różne jest natomiast tempo zmian siły mięśni tych partii ciała i zależy od czasu pozostawania w bezruchu [10].

Przez cały okres unieruchomienia występuje zwiększona diureza, która skutkuje zwiększoną ucieczką z organizmu wapnia, magnezu i fosforanów co przyczynia się do zwiększonej łamliwości kości. Zjawisko to ma szczególnie dramatyczne konsekwencje u osób w podeszłym wieku cierpiących na osteoporozę [10].

Podczas unieruchomienia wzmożonej diurezie towarzyszy zmniejszenie dowolnego spożywania płynów, co poza wymienionymi wyżej skutkami przyczynia się także do zmniejszenia ogólnej zawartości wody w organizmie. Poza mikroelementami związanymi z metabolizmem kości, przyczynia się to do obniżenia zawartości potasu i magnezu we krwi.

Jednym z najbardziej wczesnych (2-3 doby) i spektakularnych skutków bezczynności ruchowej jest

obniżenie tolerancji węglowodanów czego wyrazem są podwyższona glikemia po posiłkowej, hiperinsulinemia i rozwijająca się oporność tkanek (zwłaszcza) mięśni na insulinę. U podstaw tego zjawiska leży również zmniejszenie aktywności transporterów glukozy GLUT-4. Zjawisko to wskazuje w dużym stopniu na rolę aktywności fizycznej u osób cierpiących na cukrzycę typu –II. Ważne zatem staje się ścisłe monitorowanie glikemii u sportowców i osób aktywnych fizycznie, które zmuszone zostały pozostawać w ograniczonej aktywności fizycznej [10].

Dłuższe pozostawanie w pozycji leżącej skutkuje obniżeniem tolerancji ortostatycznej i skłonnością do omdleń przy zmianie pozycji z leżącej na stojącą (tak zwana hipotonia ortostatyczna, wynikająca z obniżenia skurczowego krwi). Zjawisko to związane jest ze zmniejszeniem się objętości krwi i odbarczenia baroreceptorów tętniczych podczas unieruchomienia. Poza zmianą tolerancji ortostatycznej, innym skutkiem hipowolemii podczas długotrwałego pozostawania w pozycji leżącej jest wzrost temperatury skóry. Już po trzydniowym okresie unieruchomienia mechanizmu eliminacji ciepła z organizmu ulegają upośledzeniu i pojawia się hipertermia wysiłkowa [10].

Zalecenia związane z przeciwdziałaniem negatywnym skutkom unieruchamiania obejmują:

1. Ograniczenie tego stanu do niezbędnego minimum potrzebnego dla regeneracji organizmu,
2. Wykonywanie ćwiczeń izometrycznych i izotonicznych. Wydaje się, że zwiększony w ten sposób wydatek energetyczny do poziomu 3000 kcal na dobę wydaje się wystarczający dla zapobiegania negatywnym skutkom długotrwałej bezczynności w pozycji leżącej.
3. Jeżeli jest to możliwe to unieruchomienie w łóżku powinno odbywać się nie w pozycji leżącej a siedzącej.

Celem powyższego opisu zmian fizjologicznych podczas skrajnego ograniczenia aktywności fizycznej, było przede wszystkim przedstawienie roli jaką aktywność ta odgrywa w korzystnym kształtowaniu wskaźników fizjologicznych i zdrowia [6, 10].

W podsumowaniu należałoby postawić pytanie czy wzmożona aktywność fizyczna może przeciwdziałać skutkom starzenia się organizmu? W tabeli 2 zestawiono kierunek zmian kilku wybranych wskaźników fizjologicznych jakie zachodzą w organizmie pod wpływem starzenia się, wzmożonej aktywności fizycznej i długotrwałego pozostawania w pozycji leżącej. Jak wynika z tabeli, przynajmniej w zestawieniu zmian zachodzących wraz z wiekiem i unieruchomieniem z jednej strony, z drugiej ze wzmożoną aktywnością fizyczną są one jednoznacznie przeciwstawne.

I w tym momencie nasuwa się nieodparcie pytanie – czy aktywność fizyczna jest eliksirem długowieczności? To stawia oczywiście następne pytanie – czy

Tab. 2. Zmiany wskaźników fizjologicznych w procesie starzenia się, podczas wzmożonej aktywności fizycznej oraz unieruchomienia. $VO_2\max$ – pułap tlenowy, CO – cardiac output, objętość minutowa serca – objętość krwi tłoczzonej przez komorę w czasie jednej minut, SV – (stroke volume) objętość wyrzutowa serca – objętość krwi tłoczona przez lewą komorę podczas jej skurczu. V – życiowa i oddechowa – objętości płuc

Wskaźnik fizjologiczny	Wiek	Aktywność fizyczna	Unieruchomienie
$VO_2\max$	↓	↑	↓
CO	↓	↑	↓
SV	↓	↑	↓
V życiowa płuc	↓	↑	–
V oddechowa	↓	↑	–
Sk/rozk ciśnienie krwi	↑	↑	
Siła mięśni	↓	↑	↓
Tolerancja glukozy	↓	↑	↓

racjonalna aktywność ruchowa może opóźnić procesy związane ze starzeniem się organizmu? W odpowiedzi na te pytania należy przytoczyć klasyczne badania Paffenbarger i wsp. [2] wielokrotnie przytaczane w piśmiennictwie światowym. Autorzy Ci przeprowadzili badania wśród 16 936 absolwentów Uniwersytetu Harvarda. Pomimo tak dużej grupy badanych i długiego okresu prowadzenia obserwacji (16 lat) końcowa konkluzja – powyżej 80 roku życia dodatkowy czas życia związany z uprawianiem regularnej aktywności fizycznej wynosi około dwóch lat. Może się zatem wydawać, że jest to mało spektakularny wynik. Trzeba jednak zwrócić uwagę na fakt, że dotyczy on osób w podeszłym wieku. Udowadnia także jak trudno jest przeprowadzać dowody naukowe na dużych populacjach ludzi.

Niewątpliwie im wyższy jest poziom aktywności fizycznej tym wolniejsze tempo obniżania się wydolności organizmu owocujące w podeszłym wieku lepszym zdrowiem i zdolnością do samodzielnego życia i samoobsługi.

Piśmiennictwo/References

1. Morris JN, Heady JA, Raffle PA, Roberts CG, Parks JW. Coronary heart disease and physical activity of work. *Lancet* 1953;265:1053-57.
2. Paffenbarger RS Jr, Hyde RT, Wing AL, Hsieh CC. Physical activity, all-cause mortality and longevity of college alumni. *N Engl J Med* 1986;314:605-13.

3. Ziemba AW, Fleg J., Andres R. Interrelationship between age, obesity, pattern of fat distribution, physical fitness and metabolic risk factor for coronary arterter disease. *Intern. Persp. In exerc. Physiol.* (K.Nazar, RL, Terjung, H. Kaciuba-Uściłko, L. Budohoski ED), Human Kinetics, Champaign, Illinois, 1990: 196.
4. Reusch, J.E.B., Bridenstine, M. & Regensteiner, J.G. Type 2 diabetes mellitus and exercise impairment. *Rev Endocr Metab Disord* 2013;14:77-86.
5. Ziemba AW. Rola aktywności ruchowej w zapobieganiu zaburzeniom poznawczym. *Akt. Neurol.* 2014, 14 (3): 175-180.
6. Greenleaf JE. Some evils of prolonged bedrest deconditioning. *Med Sportiva*, 2001, 5 (4), 205-26.
7. Greenleaf JE. Deconditioning and reconditioning, Boca – Raton-London-New York – Washington. CRC Press, 2004.
8. Allen C., Glasziou P., Del Mar C. Bed rest: a potentially harmful treatment needing more careful evaluation. *Lancet* 1999; 353: 1229-3.
9. Ziemba AW, Mikulski T., Smorawiński J., Młynarczyk C., Kamińska E., Nazar K., Kaciuba-Uściłko H. The effect of three-day bed rest on physical performance before and after moderate training in young healthy men. W: *Kinesiology New Perspectives* (red. Milanowic D, Prot F), Zagrzeb, 2002: 491-3.
10. Ziemba A. Unieruchomienie i roztrenowanie. W: *Medycyna Sportowa* (red: Jegier A., Nazar K., Dziak A.) PZWL, Warszawa, 2013: 114-25.

Adres do Korespondencji/Address for correspondence

Prof. Andrzej Ziemba

Dyrektor Naukowy PAN

Zakład Fizjologii Stosowanej

Polska Akademia Nauk im. Mossakowskiego

Ul. 5 Pawińskiego

02-106 Warszawa

Tel. +48 606 192 100

mail; ziemba.andrzej7@gmail.com



Prof. dr hab. n. med. Andrzej Ziemia od 1973 r. pracownik Zakładu Fizjologii Stosowanej w Instytucie Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej im. M. Mossakowskiego, Polskiej Akademii Nauk. Od 2006 r. jest kierownikiem tego Zakładu, a od 2015 r. dyrektor ds. naukowych Instytutu. Odbił staże zagraniczne w Finlandii, Francji, Wielkiej Brytanii i Holandii, a w latach 1982-1986 pracował w National Institutes of Health w USA. Członek Rad Naukowych w swoim macierzystym Instytucie, Instytucie Biochemii i Biofizyki, PAN oraz w Wojskowym Instytucie Medycyny. W latach 2009 – 2016 członek Komisji ds. Zwalczania Dopingu w Sporcie. Członek i sekretarz Polskiego

Towarzystwa Medycyny Sportowej. Zastępca przewodniczącego Komitetu Rehabilitacji, Kultury Fizycznej i Integracji Społecznej PAN. Promotor 5 prac doktorskich, kierownik i wykonawca 9 projektów badawczych, KBN i NCN. Autor lub współautor około 70 publikacji w większości o zasięgu międzynarodowym, 31 rozdziałów w książkach i podręcznikach oraz licznych artykułów popularnonaukowych.