

Marek Bochnia

ROLA WIBRACJI W PATOLOGII NARZĄDU SŁUCHU

THE ROLE OF VIBRATION IN PATHOLOGY OF HEARING

Z Katedry i Kliniki Otolaryngologii

Akademii Medycznej we Wrocławiu

Kierownik Kliniki: prof. dr hab. med. L. Pośpiech

STRESZCZENIE Wibracja jest obecnie uważana za jeden z najpowszechniejszych czynników szkodliwych, jakie niesie cywilizacja. Pochłonięta energia drgań może oddziaływać na wszystkie tkanki i narządy, a skutki narażenia nie prezentują jednolitego obrazu klinicznego. Ponieważ wszystkie pracujące maszyny i urządzenia wibracyjne produkują równocześnie hałas, ich działanie jest zwykle oceniane łącznie. W literaturze fachowej dominuje opinia, że dla narządu słuchu drgania mechaniczne są jedynie słabym, dodatkowo obciążającym czynnikiem. Pogląd ten pozostaje w wyraźnej sprzeczności z doniesieniami o stopniu uszkodzenia słuchu u przedstawicieli różnych gałęzi przemysłu narażonych na hałas i wibrację. Badania nad wpływem wibracji na słuch z udziałem ochotników przeprowadzano w przeszłości rzadko i były to w większości doświadczenia krótkotrwałe. W eksperymentach laboratoryjnych używano zwierząt o różnej wrażliwości narządu słuchu, a ekspozycji na wibrację towarzyszył najczęściej hałas. Tym niemniej, potwierdzały one najczęściej obecność uszkodzeń komórek słuchowych, głównie zewnętrznych, które można było wiązać z narażeniem na wibrację. Co więcej, pojawiło się kilka doniesień o występowaniu powibracyjnych zmian zwyrodnieniowych w innych, niż ucho wewnętrzne odcinkach narządu słuchu. Sugerują one wyraźnie, że rola wibracji w patologii tego narządu jest wciąż niedoceniana i nie do końca wyjaśniona. Med. Pr. 2001; 52; 4; 285—290

SŁOWA KLUCZOWE: środowisko, wibracja, słuch, ucho wewnętrzne, ucho środkowe

ABSTRACT Vibration is now considered as one of the most common environmental traumatic factors. The energy absorbed may exert a pathological effect on all bodily tissues and organs, although the consequences of exposure to vibration do not present a uniform clinical picture. Because all machines and vibrating tools also produce noise, the combined effect of both factors is usually examined. In the professional literature, an opinion predominates that vibration exerts only a weak, additional traumatic influence on the hearing organ. This opinion is contrary to reports on vibration-related hearing impairments observed in workers of various branches of industry. In the past, the studies of harmful effects of vibration with the participation of volunteers were seldom and short-term. Experiments on laboratory animals were carried out on species with different sensibility of the hearing organ, and exposure to vibration was most frequently accompanied by noise. Nevertheless, they usually confirmed the presence of vibration-related changes in the inner ear, mostly in the hair cells. Moreover, there have been several reports on post-vibratory pathological changes not only in the inner, but also in other parts of the ear. All these findings indicate that the role of vibration in the pathology of the hearing organ is still underestimated and not fully elucidated. Med Pr 2001; 52; 4; 285—290

KEY WORDS: environment, vibration, hearing, inner ear, middle ear

WIBRACJA W ŚRODOWISKU I PRZEMYŚLE

Pierwsze narzędzia udarowe skonstruowane zostały w drugiej połowie XIX wieku, a już na początku naszego stulecia Loriga w Europie i Hamilton w USA opisali zmiany chorobowe, stwierdzone u obsługujących je pracowników. Obecnie drgania mechaniczne są jednym z najpowszechniejszych czynników szkodliwych w środowisku. Rozrastają się istniejące i powstają wciąż nowe ośrodki miejskie, pełne indywidualnych i zbiorowych środków transportu. W zakładach przemysłowych przybywa maszyn wytwarzających drgania, tak celowo, jak i ubocznie. Ten dynamiczny proces sprawia, iż i w warunkach pracy, i w środowisku pozazawodowym wibracja działa nagminnie na organizm człowieka. Na całym świecie miliony ludzi pracują w zawodach związanych z ekspozycją na działanie drgań. W Polsce kilkaset tysięcy osób zatrudnionych jest w przemyśle i transporcie. Augustyńska (1) oceniała w 1995 r., że ponad 100 tys. z nich mogło być narażonych na działanie wibracji przemysłowej przekraczającej dopuszczalne wartości. W tym samym czasie w Wielkiej Brytanii 150 tys. (2), a w USA ponad 1200 tys. osób (3) długotrwale obsługiwało ręczne narzędzia udarowe. Liczba pracowników podlegających ekspozycji na ogólne działanie drgań w tych krajach mogła i może być nawet 5–6 razy większa (4). Działaniu drgań mechanicznych podlegają jednak nie tylko użytkownicy i bezpośrednia obsługa urządzeń mechanicznych. Wszystkie pracujące maszyny wyt-

warzają bowiem określone środowisko wibracyjne, a ekspozycja zawodowa nakłada się i sumuje z działaniem drgań w życiu codziennym.

OCENA HIGIENICZNA NARAŻEŃ NA WIBRACJE

Z higienicznego punktu widzenia wibracja to ciągłe i bezpośrednie (bez udziału środowiska powietrznego) oddziaływanie drgań mechanicznych. Odznacza się ona kilkoma drgającymi wielkościami: wibracyjnym przesunięciem, wibracyjną prędkością i wibracyjnym przyspieszeniem. Ze względu na wpływ przyspieszeń wyższych rzędów na generowanie hałasów uderzeniowych podawana jest też czasem „ostrość” wibracji, pochodna względem czasu przyspieszenia (5). Jest to jedna z wielu analogii istniejących pomiędzy układami mechanicznymi i akustycznymi. Czynnikiem patogennym działającym na poszczególne tkanki, narządy lub cały organizm jest pochłaniania energia drgań mechanicznych (6,7). Szkodliwy wpływ drgań zależy równocześnie od 1) stopnia obciążenia tym czynnikiem środowiskowym (istotne są czas narażenia, powierzchnia absorpcji i sposób kontaktu ciała z elementem drgającym) i 2) jego parametrów fizycznych. Założenie to stanowi podstawę większości używanych obecnie norm higienicznych. Na zależnościach pomiędzy warunkami ekspozycji a oczekiwanymi psychologicznymi i fizjologicznymi skutkami działania wibracji ogólna oparta jest tzw. norma ISO 2631 – standard Międzynarodo-

wej Organizacji Normalizacyjnej w Genewie (8). Określa ona dopuszczalne poziomy drgań dla poszczególnych częstotliwości i maksymalne, dozwolone wartości ich przyspieszeń na stanowisku pracy. Kryterium narażenia może być też równoważna względem ośmiu godzin wartość przyspieszenia, wyznaczana wyłącznie dla uważanych za najgroźniejsze, drgań w kierunku pionowym (9). Iloczyn kwadratu równoważnego przyspieszenia i liczby lat pracy uznawany jest z kolei za tzw. zawodową dawkę wibracji (10).

Ad. 1. Zależność pomiędzy czasem narażenia oraz ewentualnym wystąpieniem i stopniem nasilenia stwierdzanych objawów nie jest prosta. Uważa się np., że związany z używaniem ręcznych narzędzi wibracyjnych napadowy skurcz naczyń – tzw. „objaw białych palców” (ang. vibration white finger) pojawia się po kilkuletniej ekspozycji zawodowej (11). Donoszono jednak o przypadkach jego występowania po zaledwie kilku miesiącach zatrudnienia (12). W zależności od powierzchni i sposobu kontaktu ciała ze źródłem drgań powszechnie stosowany jest podział na wibrację ogólną i miejscową, będący podziałem umownym i uproszczonym. Nadal dyskutowany jest np. problem, czy zaburzenia, obserwowane w zakresie kończyn górnych u pracowników obsługujących narzędzia wibracyjne, są ograniczone do uszkodzeń obwodowych. Pogrubienie środkowej warstwy mięśniowej małych naczyń tętniczych i zwłóknienie okołonaczyniowe wykazywano bowiem nie tylko w palcach rąk, ale i stóp pacjentów (13). Przyjmuje się, że zmiany te mogły powstać w związku z bezpośrednim działaniem energii drgań, jak i z zaburzeniami krążeniowymi, wywołanymi aktywacją ośrodków regulujących napięcie naczyń obwodowych (14,15). Część energii drgań dociera ponadto nawet do odległych od miejsca ich przyłożenia narządów (16). Podczas obsługi narzędzia obciążenie i napięcie różnych grup mięśniowych bywa też zmienne i nierównomierne, co warunkuje różne przekazywanie wibracji (17).

Ad 2. Już 40 lat temu Minecki stwierdzał, że przy higienicznej ocenie wibracji zasadniczą rolę powinna odgrywać ocena jej widma (18). W obserwowanych zmianach podkreślał zależne od częstotliwości różnice jakościowe, od amplitudy drgań uzależniał ilościową stronę obserwowanych objawów. Nadal popularna jest opinia, że przy narażeniu na drgania o małych częstotliwościach (do kilkudziesięciu Hz) i dużej amplitudzie (kilka, kilkanaście mm) dominują uszkodzenia układu kostno-stawowego, mięśniowego i nerwowego, a przy dużych częstotliwościach i małej amplitudzie objawy naczyniowo-nerwowe (19,20). Podział na szkodliwość zależnie od widma wibracji nie może być jednak sztywny. Obserwowano np. równoczesne występowanie zmian kostnych i naczyniowych u tych samych osób (21). W literaturze światowej pojawiają się też doniesienia o szkodliwym działaniu drgań o parametrach uważanych wcześniej za bezpieczne (12).

Przy klinicznej ocenie szkodliwości wibracji poważnym utrudnieniem jest ponadto fakt, że drgania mechaniczne mogą powodować powstanie zmian w różnych, reagujących

niezależnie narządach i układach. Czynnikiem prowadzącym do powstania poważnych obrażeń mechanicznych jest np. wystąpienie zjawiska rezonansu. Przedziały od 4 do 5 i od 17 do 25 Hz, dla których absorpcja energii drgań jest największa, to zakresy częstotliwości rezonansowych głowy człowieka (16). Pojawienie się i zaawansowanie zmian wibracyjnych modyfikuje również wiele dodatkowych czynników. Wpływ konstytucjonalny warunkuje osobniczą wrażliwość i ewentualne wystąpienie akomodacji do drgań. Na podatność narażonego na wibracje wpływają wiek, płeć, typ budowy ciała, stan ogólny (w tym przebyte i aktualne urazy i schorzenia), stosowanie używek, leków itp. (22,23,24). Znaczną rolę odgrywają zewnętrzne czynniki fizyczne, które mogą się kumulować i uczulać ustrój, wywołując reakcję większą niż działanie każdego z nich osobno (25). Wśród dodatkowych obciążeń wymieniane są najczęściej hałas, zimno i niedotlenienie oraz przemęczenie mięśni. Te uwarunkowania powodują, że następstwa oddziaływania drgań mechanicznych na organizm ludzki charakteryzują się wielopostaciową symptomatologią i nie prezentują jednolitego obrazu klinicznego.

DZIAŁANIE WIBRACJI NA SŁUCH

Narażenia zawodowe

Ponieważ wszystkie pracujące urządzenia i maszyny wytwarzające wibracje są również źródłem hałasu to działanie obu tych szkodliwości jest zwykle rozpatrywane łącznie. Dominuje pogląd, że drgania wywierają jedynie słaby, dodatkowo traumatyzujący wpływ na narząd słuchu (26). Radykalny pogląd prezentują tu Castelo Branco i Rodriguez, którzy proponują, by hałas i wibrację traktować jako jeden czynnik (27). Terminem choroba wibroakustyczna (ang. vibroacoustic disease) autorzy określają złożoną, wielonarządową patologię, powstającą w wyniku długotrwałej, ponad dziesięcioletniej, ekspozycji na hałas niskoczęstotliwościowy (do 500 Hz), o ciśnieniu akustycznym co najmniej 90 dB SPL. U kilku procent osób obserwowano w częstotliwościach do 500 Hz, upośledzenie słuchu o lokalizacji głównie pozaślimakowej (27,28).

Równocześnie istnieje szereg doniesień o oddzielnym, wyraźnie szkodliwym oddziaływaniu miejscowej i ogólnej wibracji na słuch u pracowników różnych gałęzi przemysłu. Wśród osób obsługujących ręczne narzędzia wibracyjne, w porównaniu do narażonych wyłącznie na działanie hałasu, obserwowano najczęściej dodatkowe podwyższenie progu słuchu dla częstotliwości średnich i wyższych. U szlifierzy, ślusarzy, kowali, górników i włóknarzy oraz pracowników leśnictwa – pilarzy i drwali zmiany występowały w zakresie od 1–2 do 8 kHz (29,30,31). Leśnicy, a zwłaszcza operatorzy pił łańcuchowych stanowią grupę zawodową wybieraną ostatnio często w Skandynawii i Japonii przy badaniach nad wpływem wibracji miejscowej na narząd słuchu (32,33). Związane ze złymi warunkami klimatycznymi ochłodzenie organizmu jest tu poważnym, dodatkowym czynnikiem ob-

ciążającym. Zaskakuje jednocześnie ochronne oddziaływanie hipotermii na słuch, stwierdzone u zwierząt doświadczalnych, obciążonych hałasem (34). Fakt ten wskazywać może na odrębny mechanizm powstawania uszkodzeń słuchu w wyniku działania hałasu i wibracji. Na równoczesne działanie wibracji miejscowej i ogólnej narażeni są pracownicy zatrudnieni przy produkcji cementu. U betoniarzy drgania powodowały również pogłębienie uszkodzenia słuchu w zakresie częstotliwości od 150 Hz do 8 kHz (21,35,36). Działanie wyłącznie wibracji ogólnej na narząd słuchu oceniano z kolei podczas badań u kierowców pojazdów mechanicznych i przedstawicieli różnych gałęzi transportu (37,38,39,40). W grupach tych rejestrowano, związane z działaniem drgań mechanicznych, pogłębienie upośledzenia słuchu obejmujące szeroki zakres częstotliwości od 250 Hz do 8 kHz.

Badania na ochotnikach

Znane są pojedyncze doniesienia doświadczalne o oddziaływaniu ogólnej wibracji (pionowe drgania sinusoidalne) na słuch. Badania prowadzone z udziałem ochotników napotykały jednak zwykle na trudności – z konieczności czas eksperymentów był krótki, a uzyskiwane wyniki niejednoznaczne. Manninen i Ekblom (41) badali ochotników poddawanych w krótkotrwałych cyklach (do 3 • 16 minut) działaniu drgań pionowych (5 i 10 Hz) oraz szerokopasmowego białego szumu (od 85 do 92 dB). Autorzy nie stwierdzali wpływu wibracji na stan słuchu, która jednak, działając równocześnie z hałasem, nasilała czasowe odwracalne przesunięcie jego progu o 20–50% dla częstotliwości 4 i 6 kHz. Yokoyama (42) poddał ośmiu mężczyznom równoczesnemu działaniu wibracji o częstotliwościach 5 i 16,7 Hz oraz białego szumu o poziomie ciśnienia akustycznego 82 dB SPL (ze względu na wytrzymałość ochotników czas eksperymentu wynosił do 20 minut). Autor ten nie obserwował znaczących zmian progu słuchu po działaniu samych drgań. Równoczesna ekspozycja na wibrację i hałas powodowała jednak wyraźnie głębsze, niż w wyniku działania samego hałasu, czasowe przesunięcie progu słuchu i wydłużała czas powrotu do normy. Okada i wsp. (43) poddawali ochotników działaniu drgań pionowych o częstotliwościach od 2 do 20 Hz i nagranych na taśmę magnetofonową hałasu przemysłowego o poziomie ciśnienia akustycznego 101 dB SPL. Autorzy wykazali, że wibracja nie tylko działa synergistycznie z hałasem, lecz sama również może powodować czasowe podwyższenie progu słuchu. Seidel i wsp. (44) poddając ochotników działaniu wibracji i hałasu, po trwającej 90 minut ekspozycji na drgania o częstotliwości 4 Hz, również obserwowali czasowe odwracalne przesunięcie progu słuchu, najwyraźniejsze dla 10 kHz. Ullsperger i wsp. (45,46) jako pierwsi w badaniach na ochotnikach zastosowali audiometrię obiektywną. Po kilkunastominutowym działaniu drgań o częstotliwościach od 1 do 8 Hz, obserwowali spadek amplitudy wywołanych potencjałów słuchowych z pnia mózgu. Najdłuższy czas działania wibracji (drgania o częstotliwości 16 Hz) i hałasu (szerokopasmowy

hałas o ciśnieniu akustycznym od 85 do 92 dB SPL) stosowali Svistunov i Marčenkova (47). Ochotników poddawano skomponowanemu lub oddzielnemu działaniu obu tych czynników przez 8, 16 lub 24 godziny. Dla badanych częstotliwości, tj. 3, 4, 6 i 8 kHz, drgania pogłębiały upośledzenie słuchu o 10–30%.

Badania na zwierzętach

Badania morfologiczne nad wpływem ogólnej wibracji na narząd słuchu z użyciem zwierząt laboratoryjnych wykonywane były również rzadko. Przeprowadzane w różnych warunkach i z użyciem przedstawicieli gatunków o różnej odporności narządu słuchu dawały często odmienne rezultaty.

W nielicznych opracowaniach przedstawiono równoczesny wpływ hałasu przemysłowego i wibracji na ucho wewnętrzne. Najprawdopodobniej pierwsze tego typu obserwacje pochodzą z dawnego ZSRR. Temkin (48) podaje, że już w latach dwudziestych XX wieku autorzy radzieccy stwierdzali uszkodzenie komórek słuchowych, zwłaszcza w zakręcie górnym ślimaka u świnek morskich i myszy, podlegających długotrwałemu działaniu obu tych szkodliwości. Enin (49) u myszy i szczurów poddawanych 3 godziny dziennie, przez okres do jednego roku, działaniu drgań (częstotliwość 50 Hz, amplituda 0,9 mm) i hałasu (poziom ciśnienia akustycznego 100 dB SPL) (wibroplatforma do wyrobu płyt betonowych) stwierdzał zmiany degeneracyjne we wszystkich zakrętach ślimaka, najbardziej wyraźne w zakręcie dolnym. Guseev i wsp. (50) umieszczali króliki na 15, 30 i 60 dni w klatkach, ustawianych w odległości 1,5 m od pracującej sprężarki (narażenie na hałas i wibrację). Autorzy stwierdzili zmiany degeneracyjne narządu Cortiego, nie precyzując lokalizacji ani stopnia ich zaawansowania. Uważali, że drgania mechaniczne uczulają komórki słuchowe na szkodliwe działanie hałasu. Śliwińska-Kowalska i wsp. (51) przebadali stan słuchu u świnek morskich przebywających przez 3 miesiące w tkalni (narażenie na hałas i wibrację). Zmiany morfologiczne obserwowano w II, III i IV zakręcie ślimaka. Najczęściej były to uszkodzenia pierwszego i trzeciego rzędu komórek słuchowych zewnętrznych, sporadycznie komórek słuchowych wewnętrznych.

Prace doświadczalne z użyciem wstrząsarek, wytwarzających sinusoidalne drgania pionowe, należą również do rzadkości. W 1969 r. Jauhainen i wsp. (52) przedstawili wyniki badań elektrofizjologicznych u dziesięciu świnek morskich, po dwudniowej, ogólnej wibracji (częstotliwość pionowych drgań sinusoidalnych 10 Hz, amplituda 3 mm). Zarejestrowano nieznaczny wzrost amplitudy potencjałów mikrofonicznych, w zakresie częstotliwości od 250 Hz do 4 kHz. Wstrząsarka w tym doświadczeniu emitowała hałas o poziomie 75 dB SPL. Spośród autorów polskich Hermanowicz (53) jako pierwszy opisał zachowanie się odruchu uszno-małowinowego u świnek morskich, długotrwałe narażonych na równoczesne, ogólne działanie drgań (częstotliwość 40 Hz, amplituda 1 mm) i hałasu (poziom ciśnienia akustycznego 87 dB SPL). W wyniku trzymiesięcznej ekspozycji, u bada-

nych zwierząt stwierdzono podwyższenie progu słuchu o około 5 dB, w zakresie od 125 Hz do 6 kHz. Na przestrzeni 17–18 mm przewodu ślimaka, w pierwszym rzędzie komórek słuchowych zewnętrznych, występowały zmiany histochemiczne i morfologiczne. Filipowski (54) badał zachowanie się mikrofoników u świnek morskich, poddawanych 3 godz. dziennie przez 7, 14 i 30 dni działaniu drgań o amplitudzie 3 mm i częstotliwości 10 Hz oraz 1 mm i 40 Hz. Według autora, większa była szkodliwość drgań o mniejszej częstotliwości, które powodowały spadki napięć potencjałów mikrofonicznych w zakresie od 125 Hz do 8 kHz (w pracy wspomniano o dużej hałaśliwości wstrząsarki). Hamernik i wsp. (55,56) poddawali szynszyle przez 1–10 godzin działaniu drgań o częstotliwości 30 Hz i przerywanemu (113 dB SPL) lub impulsowemu (155 dB SPL) hałasowi. Jedynie osobniki narażone wyłącznie na ogólną wibrację nie wykazywały czasowego ani trwałego przesunięcia progu słuchu. W badaniach tych nie wykazano zmian morfologicznych, które można by wiązać z działaniem drgań (hałas wstrząsarki osiągał 84 dB SPL). Nechorošev (57) badał u świnek morskich wpływ ogólnej wibracji (częstotliwości od ok. 30 do ok. 60 Hz) i białego szumu (85 dB SPL) w doświadczeniu trwającym do 270 godzin. W niemal wszystkich komórkach słuchowych narządu spiralnego, po 60, 90 dniach, stwierdzał nieodwracalne zmiany pod postacią deformacji jąder z dezintegracją chromatyny. Rogowski i Chodynicki (58) przebadali wpływ ogólnej wibracji (63 Hz/3 godz./30 dni) i gentamycyny na ucho wewnętrzne u świnek morskich. Przy wyłącznym działaniu drgań obserwowali spadek potencjałów mikrofonicznych w zakresie niskich i średnich częstotliwości oraz uszkodzenia we wszystkich trzech rzędach komórek słuchowych zewnętrznych (rzadziej wewnętrznych), w zakresie III i IV zakrętu ślimaka. Chodynicki i wsp. (59) badali również stan słuchu u świnek morskich narażonych w życiu płodowym na ogólną wibrację i hałas. Zwierzęta wykazywały spadek wartości mikrofoników w zakresie wszystkich częstotliwości, zwłaszcza niskich i średnich (do 1,5 kHz). W skaningowej mikroskopii elektronowej, uszkodzenia komórek narządu spiralnego lokalizowano w IV zakręcie ślimaka.

W literaturze fachowej pojawiły się dotychczas jedynie dwie wzmianki o wpływie wibracji na inne, niż narząd Cortiego, elementy ucha. Guseev i wsp. (50) u narażonych na ogólną wibrację królików obserwowali zmiany zanikowe, złuszczenie nabłonka i pęcznienie włókien kolagenowych błony bębenkowej. W kosteczkach słuchowych (w pobliżu ich powierzchni stawowych) występowały ogniska resorpcji i rozrost tkanki łącznej, a w nerwie słuchowym zmiany zanikowe. Enin (49), który myszy i króliki poddawał równoczesnemu działaniu drgań i hałasu, stwierdzał u nich uszkodzenie i pogrubienie błony bębenkowej, natomiast w mięśniach śródusznych obserwowwał zmiany zanikowo-zwyrodnieniowe.

PODSUMOWANIE

Liczne uwarunkowania powodują, że następstwa oddziaływania drgań mechanicznych na organizm ludzki nie prezentują jednolitego obrazu klinicznego. Do dziś nie został np. określony zespół objawów charakterystycznych dla powszechnej w środkach transportu, długotrwałej ekspozycji ogólnej na drgania o małej częstotliwości. Co więcej, dla uszkodzeń wibracyjnych nie znaleziono dotychczas specyficznych norm laboratoryjnych ani też pojedynczego, pewnego testu diagnostycznego. Nieswoistość obserwowanych zmian i brak powszechnie przyjętych kryteriów rozpoznawczych utrudniają indywidualną diagnostykę. Uszkodzenia wibracyjne są rozpoznawane najczęściej na drodze eliminacji innych schorzeń o podobnym obrazie klinicznym.

W patologii narządu słuchu rola wibracji jest często niedoceniana. Traktowaniu jej jako jedynie słaby, dodatkowy czynnik obciążeniowy, towarzyszący hałasowi przeczą zarówno wyniki przedstawionych badań klinicznych, jak i doświadczalnych. Pomiedzy układami akustycznymi i mechanicznymi istnieją ściśle analogie. Ekspozycja na zawierający różne składowe hałas przemysłowy wywołuje jednak, jak wiadomo, zmiany w komórkach słuchowych w odległości ok. 10 mm od okienka owalnego. Wykazują one tendencję do rozprzestrzeniania się w kierunku podstawy ślimaka (60). W omówionych pracach doświadczalnych (drgania sinusoidalne, pionowe) wibracyjne uszkodzenia narządu Cortiego lokalizowano natomiast głównie w okolicy przyszczytowej (57,58,59). Sposób przekazywania energii drgań akustycznych i mechanicznych oraz mechanizmy działania hałasu i wibracji na organizm ludzki są więc prawdopodobnie odmienne (5), a wzór zmian w uchu wewnętrznym zależy od rodzaju i charakteru czynnika traumatyzującego. Pomimo różnych warunków, w których dokonywano obserwacji, szkodliwość izolowanej ekspozycji na drgania mechaniczne dla ucha wewnętrznego nie budzi wątpliwości. Poszukiwanie zmian powodowanych przez wibrację w innych odcinkach narządu słuchu wymaga zaś z pewnością dalszych badań. Wobec powszechności występowania drgań mechanicznych w środowisku współczesnego człowieka niewątpliwym błędem było by pomijanie tego zagrożenia.

PIŚMIENICTWO

1. Augustyńska D.: Normy europejskie, ochrona przed hałasem i drganiami. *Bezp. Pr.* 1995, 11, 2–5.
2. Palmer R.A., Collin J.: Vibration white finger. *Br. J. Surg.* 1993, 80, 6, 705–709.
3. Wasserman D.E.: Vibration exposure and prevention in the United States. *Nagoya J. Med. Sci.* 1994, Supl. 57, 211–218.
4. Palmer K.T., Griffin M.J., Bendall H., Pannett B., Coggon D.: Prevalence and pattern of occupational exposure to whole body vibration in Great Britain: findings from national survey. *Occup. Environ. Med.* 2000, 57, 4, 229–236.
5. Engel Z.: Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. PWN, Warszawa 1993.

6. Razumov I.K., Denisov E.I., Pozdnjakova R.Z.: Ob energetičeskom charaktere vozdeystviya vibracii na organizm čeloveka. *Gig. Tr. Prof. Zabol.* 1967, 2, 3-6.
7. Gurram R., Rakheja S., Gouw G.J., Ma S.: Influence of power tool-related parameters on the response of finger flexor muscles. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 1995, 66, 6, 393-398.
8. International Standards Organization 1974 ISO 2631-1974 (E): Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration.
9. Hulshof C.T.J., Veldhuizen van Zanten O.B.A.: Whole-body vibration and low back pain - A review of epidemiological studies. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 1987, 59, 3, 205-220.
10. Bovenzi M., Zadini A.: Self-reported low back symptoms in urban bus drivers exposed to whole-body vibration. *Spine* 1992, 17, 9, 1048-1059.
11. Harazin B., Langauer-Lewowicka H.: Ryzyko pojawienia się zespołu wibracyjnego u operatorów ręcznych narzędzi drgających. *Bezp. Pr.* 1993, 3, 10-13.
12. Cherniack M.G., Mohr S.: Raynaud's phenomenon associated with the use of pneumatically powered surgical instruments. *J. Hand Surg. (Am.)* 1994, 19, 6, 1008-1015.
13. Hashiguchi T., Yanagi H., Kinugawa Y., Sakakibara H., Yamada S.: Pathological changes of finger and toe in patients with vibration syndrome. *Nagoya J. Med. Sci.* 1994, Supl. 57, 129-136.
14. Sakakibara H.: Sympathetic responses to hand-arm vibration and symptoms of the foot. *Nagoya J. Med. Sci.* 1994, Supl. 57, 99-111.
15. Toibana N., Ishikawa N., Sakakibara H., Yamada S.: Raynaud's phenomenon of fingers and toes among vibration-exposed patients. *Nagoya J. Med. Sci.* 1994, Supl. 57, 121-128.
16. Rasmussen G.: Human body vibration exposure and its measurement. *B&K Technical Rev.* 1982, 1, 3-31.
17. Rohmert W., Wos H., Norlander S., Helbig R.: Effects of vibration on arm and shoulder muscles in the body postures. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1989, 59, 4, 243-248.
18. Minecki L.: Biologiczne działanie wibracji. *Med. Pr.* 1962, 9, 5, 355-369.
19. Bovenzi M., Lindsell C.J., Griffin M.J.: Acute vascular responses to the frequency of vibration transmitted to the hand. *Occup. Environ. Med.* 2000, 57, 6, 422-430.
20. Sroczynski J., Urbańska - Bonenberg L., Kumasza F., Turczyński B.: Charakter widma prędkości drgań mechanicznych, a postać kliniczna choroby wibracyjnej. *Med. Pr.* 1978, 29, 3, 193-200.
21. Taylor W., Pelmeur P.L.: The hand-arm vibration syndrome: an up date. *Br. J. Ind. Med.* 1990, 47, 9, 577-579.
22. Langauer-Lewowicka H.: Some aspects of health problems due to local vibration. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 1994, 7, 4, 317-322.
23. Zhu S.K., Sakakibara H., Kondo T., Miyao M., Yamada S.: Analysis of various factors affecting vibration-induced white finger. *Ind. Health* 1993, 31, 4, 171-174.
24. Cherniack M., Clive J., Seidner A.: Vibration exposure, smoking, and vascular dysfunction. *Occup. Environ. Med.* 2000, 57, 5, 341-347.
25. Lundstrom R., Holmlund P., Lindberg L.: Absorption of energy during vertical whole-body vibration exposure. *J. Biomech.* 1998, 31, 4, 317-326.
26. Seidel H.: Selected health risks caused by long-term, whole-body vibration. *Am. J. Industr. Med.* 1993, 23, 4, 589-604.
27. Castelo Branco N.A.A., Rodriguez E.: The vibroacoustic disease - an emerging pathology. *Aviat. Space Environ. Med.* 1999, 70, 3, A1-A6.
28. Castelo Branco N.A.A.: The clinical stages of vibroacoustic disease. *Aviat. Spce Environ. Med.* 1999, 70, Supl. 3, A32-A39.
29. Petelenz T., Kujawska A., Misiewicz A., Stradowski J., Kuźniarz J.: Problemy kliniczne i zawodowe choroby wibracyjnej. *Med. Pr.* 1966, 17, 4, 296-302.
30. Suvorov G.A., Denisov E.I., Ovakimov V.G., Syromjatnikov Yu.P.: Stażewaja dinamika specifičeskich i nespecifičeskich narušenij pri ŗumo-vibracii na organizm tkačej. *Gig. Tr. Prof. Zabol.* 1979, 11, 28-32.
31. Siwiec H., Gołębek W.: Stan słuchu u górników Lubelskiego Zagłębia Węglowego. *Zdr. Publ.* 1991, 102, 242-245.
32. Iki M.: Vibration-induced white finger as a risk factor for hearing loss and postural instability. *Nagoya J. Med. Sci.* 1994, Supl. 57, 137-145.
33. Pyykko I., Farkkila M., Inaba R., Starck J., Pekkarinen J.: Effect of hand-arm vibration on inner ear and cardiac functions in man. *Nagoya J. Med. Sci.* 1994, Supl. 57, 113-119.
34. Pekkarinen J.: Noise, impulse noise, and other physical factors: combined effects on hearing. *Occup. Med.* 1995, 10, 3, 545-559.
35. Kublanova P.S., Majorov V.P.: Svjaz meźdu gašeniem vibracii pri pere-dačie k visočnoj kosti i patologiej ucha. *Zh. Ushn. Nos. Gorl. Bol.* 1970, 5, 28-32.
36. Taniewski J., Marzec C.: Wpływ wibracji przemysłowej na narząd słuchu i równowagi. *Otolaryng. Pol.* 1964, 18, 4, 487-491.
37. Kublanova P.S.: Klinika wibracyjnych uszkodzeń narządu słuchu. *Pam. XXVII Zjazdu Otolaryngologów Polskich. PZWL, Warszawa* 1970, ss. 84-86.
38. Kieszkowska L.: Badania narządu słuchu i równowagi u osób narażonych na działanie wibracji. *Otolaryng. Pol.* 1978, 32, 2, 233-235.
39. Pośpiech L., Zalesska-Kręcicka M.: Badania słuchu i równowagi pracowników żeglugi śródlądowej narażonych na różne ekspozycje wibracji i hałasu. *Med. Komunik.* 1984, 20, 4, 97-102.
40. Johanning E.: Back disorders and health problems among subway train operators exposed to whole-body vibration. *Scand. J. Work. Environ. Health* 1991, 17, 6, 414-419.
41. Manninen O., Ekblom A.: Single and joint actions of noise and sinusoidal whole body vibration on TTS2 values and low frequency upright posture sway in men. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 1984, 54, 1, 1-17.
42. Yokoyama T., Osako S., Yamamoto K.: Temporary threshold shifts produced by exposure to vibration, noise, and vibration-plus-noise. *Acta Otolaryngol. (Stockh.)* 1974, 78, 3-4, 207-212.
43. Okada A., Miyake H., Yamamura K., Minami M.: Temporary hearing loss induced by noise and vibration. *J. Acoust. Soc. Am.* 1972, 51, 4, 1240-1248.
44. Seidel H., Harazin B., Pavlas K., Sroka C., Richter J., Bluthner R. i wsp.: Isolated and combined effects of prolonged exposures to noise and whole-body vibration on hearing, vision and strain. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 1988, 61, 1-2, 95-106.
45. Ullsperger P., Seidel H.: On auditory evoked potentials and heart rate in man during whole-body vibration. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1980, 43, 3, 183-192.
46. Ullsperger P., Seidel H., Menzel G.: Effect of whole-body vibration with different frequencies and intensities on auditory evoked potentials and heart rate in man. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1986, 54, 6, 661-668.

47. Svistunov N.T., Marčenkova L.N.: Dejstvie obsčej vibracii v sočetaanii s preryvistym šumom na sluchovuju funkciju čeloveka. *Gig. Tr. Prof. Zabol.* 1982, 7, 35-36.
48. Temkin Y.S.: Patogenez i klinika vibracionnykh kochleovestibuljarnykh narušenij. *Vestn. Otorinolaringol.* 1960, 3, 5-15.
49. Enin I.P.: Morfoložičeskie izmenenija v organe slucha u podopytnykh životnykh pri vozdejstvii vibracii vysokich parametrov i šuma. *Vestn. Otorinolaringol.* 1965, 1, 25-29.
50. Guseev Ju.M., Škromida G.T., Zbirak N.P.: Gistomorfologičeskie izmenenija v organe slucha eksperimenta'lnykh životnykh pri dlite'lnom vozdejstvii proizvodstvennogo šuma i vibracii. *Zh. Ushn. Nos. Gorl. Bol.* 1978, 3, 60-65.
51. Śliwińska-Kowalska M., Sułkowski W., Rydzyński K., Jedlińska U.: Uszkodzenie sluchu spowodowane działaniem hałasu przemysłowego - badania czynnościowe i patomorfologiczne u świnek morskich. *Otolaryng. Pol.* 1993, Supl. 14, 445-452.
52. Jauhainen T., Kohonen A., Tarkanen J., Kaimio M.: The effect of whole body vibration on the cochlea. *Laryngoscope* 1969, 79, 11, 1950-1955.
53. Hermanowicz A.: Ocena sluchu u świnek morskich poddanych działaniu wibracji i hałasu. *Otolaryng. Pol.* 1979, 33, 1, 47-53.
54. Filipowski M.: Wpływ drgań mechanicznych na potencjał mikrofoniczny świnek morskich. *Otolaryng. Pol.* 1978, 32, 5, 509-515.
55. Hamernik R.P., Henderson D., Coling D., Salvi R.: Influence of vibration on asymptotic threshold shift produced by impulse noise. *Audiology* 1981, 20, 3, 259-269.
56. Hamernik R.P., Henderson D., Coling D., Slepecky N.: The interaction of whole body vibration and impulse noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 1980, 67, 3, 928-934.
57. Nechorošev A.S.: Kombinirovannoe vozdejstvie šuma i vibracii na kletki sluchovogo i vestibuljarnogo apparatov. *Vestn. Otorinolaringol.* 1990, 6, 27-30.
58. Rogowski M., Chodynicky S.: Einflub von Vibrationen und Gentamycin auf das Gehörorgan des Meerschweinchens. *HNO Prax.* 1987, 12, 2, 219-223.
59. Chodynicky S., Gindzieńska E., Rogowski M.: Wpływ hałasu i wibracji na narząd sluchu w okresie rozwoju płodowego. *Otolaryng. Pol.* 1986, 40, 2, 120-127.
60. Saunders J.C., Cohen Y.E., Szymko Y.M.: The structural and functional consequences of acoustic injury in the cochlea and peripheral auditory system: A five year update. *J. Acoust. Soc. Am.* 1991, 90, 1, 136-146.

Adres autora: Chałubińskiego 2, 50-368 Wrocław

Nadesłano: 20.11.2000

Zatwierdzono: 30.06.2001