

KOSZT FIZJOLOGICZNY NOSZENIA MASEK OCHRONNYCH – NARRACYJNY PRZEGLĄD LITERATURY

PHYSIOLOGICAL COST OF WEARING PROTECTIVE MASKS –
A NARRATIVE REVIEW OF THE LITERATURE

Teresa Makowiec-Dąbrowska¹, Elżbieta Gadzicka¹, Alicja Bortkiewicz²

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland

¹ Zakład Środowiskowych i Zawodowych Zagrożeń Zdrowia / Department of Environmental and Occupational Health Hazards

² Kolegium Nofera / Nofer Collegium

STRESZCZENIE

Ze względu na kontrowersje związane z koniecznością noszenia masek ochronnych i negatywne odczucia użytkowników podjęto próbę analizy dostępnych badań naukowych na temat fizjologicznych konsekwencji noszenia różnego rodzaju masek. W przeglądzie literatury uwzględniono publikacje dostępne w bazie bibliograficznej PubMed, opisujące dolegliwości i skargi użytkowników masek (m.in. poczucie dyskomfortu, zmęczenie, bóle głowy), zróżnicowane reakcje fizjologiczne zależne od rodzaju maski (maski chirurgiczne, z wentylem wydechowym, z nawiewem powietrza itp.), a także oddziaływanie składu powietrza, temperatury oraz wilgotności w przestrzeni pod maską. Omówiono wpływ korzystania z maski na zdolność do wysiłku fizycznego (wysiłek maksymalny, umiarkowany) i umysłowego. Przedyskutowano konsekwencje noszenia masek przez osoby w odmiennym stanie fizjologicznym (ciążarne). Wsunięto także propozycje organizacji pracy w celu zminimalizowania negatywnych skutków dla osób noszących maski. Analiza przedstawionych badań wskazuje, że maski – niezależnie od typu – mogą w różnym stopniu nasilać reakcje organizmu, zwiększając koszt fizjologiczny jego funkcjonowania i pogarszając zdolność do wykonywania wysiłku zarówno fizycznego, jak i umysłowego. Ponadto mogą one przyczyniać się m.in. do częstszego występowania bólów głowy, objawów zmęczenia czy subiektywnego poczucia dyskomfortu. Mimo tych niekorzystnych skutków używanie masek jest istotne przy ochronie przed czynnikami szkodliwymi w środowisku pracy i komunalnym, a w okresie panującej obecnie pandemii wirusa SARS-CoV-2 staje się koniecznością. Dyskomfort związany z noszeniem maski można zmniejszyć poprzez stosowanie odpowiednich przerw. Należy podkreślić, że rytm pracy i przerw w noszeniu maski powinien uwzględniać indywidualne ograniczenia pracownika. Med. Pr. 2021;72(5):569–589

Słowa kluczowe: praca umysłowa, wysiłek fizyczny, maski ochronne, temperatura wewnętrzna, temperatura skóry, powietrze wdychane/wydechane

ABSTRACT

Due to the controversy related to the necessity to wear protective masks and the negative perceptions of users, an attempt was made to analyze the available scientific research on the physiological consequences of wearing various types of masks. The literature review includes publications available in the PubMed bibliographic database, describing symptoms and complaints of mask users (e.g., the feeling of discomfort, fatigue, headaches), different physiological reactions depending on the type of mask (surgical masks, masks with an exhalation valve, with air flow, etc.) as well as the influence of air composition, temperature and humidity in the space under the mask. The impact of using the mask on the ability to exercise (maximal effort, moderate effort) and mental work was outlined. The consequences of wearing masks by people in a different physiological state (pregnancy) were discussed. Proposals for the organization of work were also presented in order to minimize the negative consequences for people wearing masks. The analysis of the presented studies shows that, regardless of the type of masks worn, they can intensify the body's reactions to a varying degree, increasing the physiological cost of work and worsening the ability to make both physical and mental effort. In addition, the mask can contribute, among others, to more frequent headaches, symptoms of fatigue or the subjective feeling of discomfort. However, despite these adverse effects, the use of masks is important to protect people against harmful factors in the work and communal environments, and during the current SARS-CoV-2 pandemic, it has become a necessity. The discomfort of wearing a mask can be reduced by taking appropriate breaks. It should be emphasized that the rhythm of work and breaks in wearing the mask should take into account the individual limitations of the employee. Med Pr. 2021;72(5):569–89

Key words: mental work, physical effort, protective masks, body temperature, skin temperature, inhaled/exhaled air

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Alicja Bortkiewicz, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Kolegium Nofera, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: alicja.bortkiewicz@imp.lodz.pl

Nadesłano: 15 stycznia 2021, zatwierdzono: 8 lipca 2021

WSTĘP

W związku z pandemią wirusa SARS-CoV-2 trwa dyskusja o korzyściach (ochrona) i negatywnych skutkach (uciążliwość lub nawet szkodliwość) noszenia masek ochronnych. Ze względu na związane z tym kontrowersje i negatywne odczucia użytkowników podjęto próbę podsumowania dostępnych badań na temat fizjologicznych konsekwencji noszenia różnego rodzaju masek.

Kiedy w miejscach przebywania ludzi występują niebezpieczne substancje, pyły, aerozole z patogenami lub substancje szkodliwe, konieczne jest zapewnienie odpowiedniej ochrony dróg oddechowych przed ich wnikaniem do organizmu. W niektórych przypadkach istnieje również potrzeba ograniczenia emisji wydzielin z dróg oddechowych do środowiska.

W zależności od rodzaju czynnika szkodliwego stosuje się różnego rodzaju środki ochrony indywidualnej, których zadaniem jest eliminacja czynnika szkodliwego z wdychanego powietrza. Zadanie to jest realizowane przez odpowiednie filtry lub materiały filtrujące i – niekiedy – wymuszony bądź tylko wspomagany przepływ powietrza. Ten właśnie sposób jest wykorzystywany w półmaskach z filtrem albo półmaskach filtrujących, w których siłą napędową procesu filtrowania powietrza są ruchy oddechowe klatki piersiowej użytkownika. Półmaski mają różną konstrukcję oraz zapewniają poziom ochrony (skuteczność filtracji) dopasowany do rodzaju i stężenia patogenu.

Użytkowanie typowych półmasek twarzowych, poza ewidentnymi korzyściami, ma jednak pewne skutki uboczne. Wynikają one z możliwego ucisku twarzy, ograniczenia możliwości porozumiewania się, parametrów mikroklimatu pod maską, a przede wszystkim konieczności pokonania dodatkowych oporów w fazie wdechu i tego, że powietrze wydychane najpierw wypełnia wnętrze maski, a do otoczenia wydostaje się przez ścianę maski lub – jeśli jest stosowany – wentyl wydechowy.

Pokonywanie oporów przepływu powietrza, jakie powoduje maska, zwiększa pracę oddechową w fazie zarówno wdechu, jak i wydechu, co w konsekwencji wiąże się z obciążeniem nie tylko mięśni oddechowych, ale również układu krążenia. W spoczynku koszt tlenowy pracy oddechowej wynosi ok. 1 ml tlenu na każdy litr wentylacji płuc i stanowi ok. 1,5% całkowitego zużycia tlenu przez organizm. Koszt ten rośnie, gdy wzrasta częstość oddechów i zwiększa się wentylacja płuc – podczas maksymalnego wysiłku praca oddechowa może pochłaniać nawet 20% całkowitego zużycia tlenu [1].

Wzrost oporu wdechowego zwiększa pracę mięśni oddechowych i zmniejsza wentylację płuc. Zmniejszają się również możliwości wysiłkowe. Caretti i wsp. stwierdzili istotne skrócenie czasu do odmowy wykonywania wysiłku i zmniejszenie wentylacji płuc wraz ze wzrostem oporów wdechowych [2]. Wraz z oporami wdechowymi skracał się również czas do odmowy kontynuowania wysiłku, ale nie w stopniu statystycznie istotnym [2].

Kolejna grupa skutków ubocznych jest związana z dodatkową przestrzenią, jaką maska tworzy przed twarzą i w której gromadzi się mieszanina powietrza wydechowego oraz atmosferycznego. Cechuje się ona innym składem niż powietrze atmosferyczne oraz znacznie wyższymi wilgotnością i temperaturą. Parametry te są modyfikowane objętością maski, szczelnością jej przylegania do twarzy i wielkością wentylacji płuc (intensywnością wysiłku), a także czasem użytkowania maski.

Korzystanie z masek wiąże się również ze stresem, którego źródłem są same okoliczności nakazujące ich noszenie, a także utrudnione kontakty z innymi osobami i uczucie izolacji. Źródłem stresu są też wszelkie odczucia dyskomfortu wynikające z noszenia maski.

METODY PRZEGLĄDU

W przeglądzie literatury uwzględniono publikacje dostępne w bazie bibliograficznej PubMed. Wyszukano je z zastosowaniem słów kluczowych: „protective mask”, „facial mask”, „physiological reaction (heart rate, blood pressure, respiration rate, skin, facial, body, tympanic, rectal temperature)”, „inhalated/exhaled air”, „oxygen/carbon dioxide concentration”, „subjective symptoms”, „headache”, „physical effort”, „physical exercise”, „mental work”. W przeglądzie uwzględniono 60 prac zarówno oryginalnych, jak i przeglądowych, opublikowanych w językach angielskim i polskim do 15 października 2020 r. Wykaz badań i ich krótki opis przedstawiono w tabeli 1.

WYNIKI PRZEGLĄDU

Oceny subiektywne

Nasilenie negatywnych odczuć wywołanych noszeniem masek zależy od budowy tych masek i czasu ich użytkowania. Shenal i wsp. porównywali subiektywne odczucia podczas noszenia 8 typów masek, w tym chirurgicznych, kubelkowego kształtu z wentylem wydechowym lub bez niego, a także z nawiewem oczyszczonego powietrza [3]. Badani nosili każdą z masek przez 8 godz. (lub tak długo, jak mogli je tolerować)

Tabela 1. Wykaz badań włączonych do przeglądu narracyjnego
Table 1. List of studies included in the narrative review

Piśmiennictwo Reference	Grupa badana Examined group	Rodzaj maski i czas jej używania Mask type and duration of use	Rodzaj badania Type of study	Observacje Observations
Shenai i wsp. / et al. (2012) [3]	27 pracowników medycznych / health care workers	wszystkie rodzaje masek: chirurgiczne, kubelkowe z wentylem wydechowym i bez niego oraz z nawiewem oczyszczonego powietrza; 8 godz. / all types of masks: medical masks, cup masks with and without exhalation valve, and with powered air-purifying respirator; 8 h	ocena subiektywna / subjective assessment	odczucie dyskomfortu wzrastało wraz z czasem użytkowania wszystkich rodzajów masek / discomfort increased over time with the use of all types of masks
Radonovich i wsp. / et al. (2009) [7]	27 osób z personelu medycznego / health care workers	miski chirurgiczne, N95 z wentylem wydechowym i bez niego; do 8 godz. (w zależności od tolerancji) / medical masks, N95 with and without exhalation valve; up to 8 h (depending on tolerance)	ocena subiektywna / subjective assessment	najlepiej tolerowana była maska chirurgiczna / the medical mask was best tolerated
Rebmann i wsp. / et al. (2013) [8]	10 pielęgniarek / nurses	miski N95; 12 godz. / N95 masks; 12 h	ocena subiektywna / subjective assessment	25% badanych zgłaszało dyskomfort i trudności w oddychaniu. Wyższe BMI było związane z odczuciem większej intensywności wysiłku, duszności i dyskomfortu / 25% of the surveyed nurses reported discomfort and problems with breathing. Higher BMI was associated with a feeling of greater intensity of exercise, shortness of breath and discomfort
Lim i wsp. / et al. (2006) [9]	212 pracowników medycznych / health care workers	miski N95; 4 godz. / N95 masks; 4 h	ocena subiektywna / subjective assessment	na bóle głowy skarżyło się 37,3% badanych / as many as 37.3% of respondents reported headaches
Ong i wsp. / et al. (2020) [10]	pracownicy medyczni / health care workers	miski N95; 4 godz. / N95 masks; 4 h	ocena subiektywna / subjective assessment	na bóle głowy skarżyło się 81% badanych / as many as 81% of respondents reported headaches
Rosner (2020) [12]	343 pracowników medycznych (315 kobiet i 28 mężczyzn) / health care workers (315 women, 28 men)	203 osoby stosowały maski N95 / 203 persons used N95 masks 140 osób używało podczas pracy masek chirurgicznych / 140 persons used medical masks during work	ocena subiektywna / subjective assessment	na bóle głowy skarżyło się 245 osób, zmiany skórne – 175 osób, trądzik – 182 osoby / headaches were reported by 245 persons, skin breakdown was experienced by 175 respondents, and acne was found in 182 respondents
Szepietowski i wsp. / et al. (2020) [14]	2315 respondentów / respondents	miski chirurgiczne, materiałowe, N95, FFP, półmaski / medical masks, N95, FFP, half masks	badanie kwestionariuszowe (ocena subiektywna) / a questionnaire survey (subjective assessment)	skargi na trądzik, otarcia nosa, swędzenie twarzy, wysypkę lub podrażnienie / complaints of acne, abrasions of the nose, itchy face, rash or irritation
Saunders i wsp. / et al. (2020) [16]	460 osób / persons	brak informacji o typie maski / no information about the type of mask	badanie ankietowe online (ocena subiektywna) / a questionnaire survey online (subjective assessment)	utrudnione zrozumienie osoby mówiącej i poczucie więzi z nią / negative impact on hearing, understanding and feelings of connection with the speaker

Tabela 1. Wykaz badań włączonych do przeglądu narracyjnego – cd.
Table 1. List of studies included in the narrative review – cont.

Piśmiennictwo Reference	Grupa badana Examined group	Rodzaj maski i czas jej używania Mask type and duration of use	Rodzaj badania Type of study	Obserwacje Observations
Goldin i wsp. / et al. (2020) [17]	symulator głowy i klatki piersiowej / head and torso simulator	maski chirurgiczne oraz N95 z wentylem i bez wentyla / medical masks, N95 with and without exhalation valve	badanie modelowe z zastosowaniem symulatora głowy i klatki piersiowej; pomiar napięcia dźwięku / a model test using a head and torso simulator; sound intensity measurement	maski chirurgiczne wyciszają dźwięk o 3–4 dB, a maski N95 – do 12 dB / medical masks reduce sound by 3–4 dB, and N95 masks – by up to 12 dB
Guo i wsp. / et al. (2008) [19]	10 osób / persons	maski kubelkowe sztywne z wentylem wydechowym (N95FFR-EV) i bez wentyla (N95 FR) / cup masks with exhalation valve (N95FFR-EV) and without it (N95 FR)	ocena subiektywna, test na bieżni / subjective assessment and an intermittent exercise on a treadmill	maski z wentylem – mniejsze uczucie zawilgocenia, gorąca, oporów podczas oddychania, mniejszy ogólny dyskomfort, lepsza tolerancja wysiłku. Stwierdzono wzrost temperatury błony bębenkowej o 0,2°C w masce z wentylem i 0,6°C – bez wentyla / masks with exhalation valve – a lower feeling of dampness, heat, breathing resistance, a generally lower discomfort, better exercise tolerance. There was an increase in the temperature of the tympanic membrane by 0.2°C in a mask with exhalation valve and by 0.6°C in that without it
Kim i wsp. / et al. (2013) [20]	20 osób / persons	maski 3M 9211 (z wentylem wydechowym), 3M 9210 (bez wentyla), maski kubelkowe Moldex 2200 (bez wentyla), Moldex 2300 (z wentylem) / masks 3M 9211 (with exhalation valve) and 3M 9210 (without exhalation valve), cup masks Moldex 2200 (without exhalation valve) and Moldex 2300 (with exhalation valve)	ocena subiektywna, 1 godz. umiarkowanego wysiłku (5,6 mili/godz.) / subjective assessment, 1 h of moderate exercise (5.6 mph)	dla masek 3M 9210, Moldex 2200 i Moldex 2300 oceny ciężkości wysiłku były istotnie wyższe niż w warunkach kontrolnych (bez maski). W przypadku masek bez wentyla odnotowano istotny wzrost częstotliwości oddechów (o 1,4–2,4/min), częstotliwości skurczów serca (o 5,7–10,6/min) i PCO ₂ (o 1,7–3,0 mm Hg) / for 3M 9210, Moldex 2200 and Moldex 2300 masks, the exertion severity scores were significantly higher than in the control conditions (without the mask). In the case of masks without exhalation valve, there was a significant increase in BF (by 1.4–2.4/min), HR (by 5.7–10.6/min) and PCO ₂ (by 1.7–3.0 mm Hg)
Chen i wsp. / et al. (2016) [22]	15 osób / persons	maski z wentylem i bez wentyla / masks with and without exhalation valve	test 5 min chodzenia – 5 min siedzenia, sEMG (elektromiografia powierzchniowa) / a 5-minute walking – 5-minute sitting test, sEMG (surface electromyography)	w masce z wentylem większe zmęczenie mięśni pochyłych szyi i mięśni brzucha / in a mask with exhalation valve, a greater fatigue of scalene and abdominal muscles was found
Seng i wsp. / et al. 2018 [23]	114 mężczyzn z personelu wojskowego / men, military personnel	maski z wentylem wydechowym (FFR +EV) i bez niego (FFR), maski z aktywną wentylacją przetrzeni pod maską (AVS) / masks with exhalation valve (FFR +EV) and without it (FFR), masks with active AVS	ocena subiektywna / subjective assessment	zastosowanie maski FFR z EV+AVS skutkowało znacznym zmniejszeniem objawów, dyskomfortu i odczucia ciężkości wysiłku w porównaniu z masą FFR z EV i standardowym FFR / the use of FFR masks with EV+AVS resulted in significantly reduced symptoms, discomfort and exertion when compared to FFR with EV and standard FFR masks

Roberge i wsp. / et al. (2010) [34]	10 pracowników medycznych (7 kobiet i 3 mężczyzn) / 10 health care workers (7 women, 3 men)	kubelkowe maski N95 FR bez wentyla i z wentylem / cup masks N95 FR with and without exhalation valve	test na bieżni z prędkością odpowiadającą małemu i umiarkowanemu wysiłkowi w pracy pielęgniarki / a treadmill test with load corresponding to light to moderate strain of a nurse's job	nie stwierdzono istotnych różnic w zmiennych fizjologicznych między testem z zastosowaniem różnych modeli masek a warunkami kontrolnymi / there were no significant differences in the physiological variables when comparing controls to all masks models
Roberge i wsp. / et al. (2012a) [38]	20 zdrowych osób / healthy persons	maski chirurgiczne / medical masks	1 godz. test na bieżni z prędkością 5,6 km/godz. / a treadmill exercise at 5.6 km/h for 1 h	po teście wyższa częstość skurczów serca (o 9,5/min, p < 0,001), częstość oddychania (o 1,6/min, p = 0,02) i prężność CO ₂ (wzrost o 2,17 mm Hg, p = 0,0006) w porównaniu z wysiłkiem bez maski / increased HR after the test (9.5 beats/min; p < 0.001), BF (1.6 breaths/min; p = 0.02), and transcutaneous CO ₂ (2.17 mm Hg; p = 0.0006)
Bedder i wsp. / et al. (2008) [39]	53 chirurgów / surgeons	maski chirurgiczne / medical masks	ocena saturacji przed przeprowadzeniem operacji i po jej zakończeniu / repeated measures of blood saturation in surgeons before and after major operations	badanie wykazało spadek wysycenia tlenem (SpO ₂) oraz niewielki wzrost częstości tętna w porównaniu z wartościami przedoperacyjnymi we wszystkich grupach chirurgów / the study revealed a decrease in the oxygen saturation of arterial pulsations (SpO ₂) and a slight increase in pulse rates compared to preoperative values in all surgeon groups
Roberge i wsp. / et al. (2012) [42]	20 osób (13 mężczyzn, 7 kobiet) / 20 persons (13 men, 7 women)	maski płaskie: 3M 9211 (z wentylem wydechowym), 3M 9210 (bez wentyla), maski kubelkowe: Moldex 2200 (bez wentyla), Moldex 2300 (z wentylem) / flat masks 3M9211 (with exhalation valve) and 3M9210 (without exhalation valve), cup masks Moldex 2200 (without exhalation valve) and Moldex 2300 (with exhalation valve)	1-godz. i 2-godz. test na bieżni z prędkością 5,6 km/godz., temperatura skóry pod maską, na policzku obok maski, w okolicy nadbrzusza po stronie lewej, temperatura wewnętrzna (czujnik w polykanej kapsułce) / 1-hour and 2-hour treadmill tests at work rate	temperatura skóry twarzy pod maską była istotnie podwyższona w stosunku do wartości wyjściowych (p < 0,001). Noszenie masek przez okres do 2 godz. nie powodowało wzrostu temperatury wewnętrznej ciała ani nieosłoniętej skóry twarzy, ale znacznie podnosiło temperaturę skóry twarzy zasłoniętej maską / facial skin temperature under the mask was significantly increased over baseline values (p < 0.001). Wearing masks for up to 2 h does not impose a significant thermal burden on body temperature and uncovered facial skin temperature but it significantly increases the temperature of the facial skin that is covered by the mask
Li i wsp. / et al. (2005) [43]	10 osób (5 kobiet i 5 mężczyzn) / 10 persons (5 men, 5 women)	4 typy masek: maski chirurgiczne i kubelkowe N95 (3M 82100) standardowe oraz zmodyfikowane poprzez zastosowanie nanomateriału / 4 types of masks: medical and cup masks N95 (3M 8210), both standard and modified with nano-functional materials	test na bieżni z przerwami / an intermittent exercise on a treadmill	stwierdzono wzrost wysiłkowej częstości skurczów serca. Temperatura i wilgotność pod maską oraz temperatura skóry twarzy były istotnie większe w maskach kubelkowych niż chirurgicznych / an increased exertion HR was found. The temperature and humidity under the mask and the temperature of the facial skin were significantly higher in cup masks than in medical masks
Yip i wsp. / et al. (2005) [51]	93 osoby z personelu medycznego / health care workers	maski chirurgiczne i N95 / medical masks and N95 masks	temperatura w jamie ustnej i przewodzie słuchowym / oral and aural temperature	temperatura w jamie ustnej była istotnie wyższa w przypadku noszenia maski N95 (p = 0,005) / oral temperature was significantly higher when an N95 mask was worn (p = 0,005)

Tabela 1. Wykaz badań włączonych do przeglądu narracyjnego – cd.
Table 1. List of studies included in the narrative review – cont.

Piśmiennictwo Reference	Grupa badana Examined group	Rodzaj maski i czas jej używania Mask type and duration of use	Rodzaj badania Type of study	Obserwacje Observations
Hayashi i / and Tokura (2004) [52]	5 kobiet / women	maski N95 FFR z wentylem wydechowym (A) i bez wentyla (B) / masks N95 FFR with (A) and without exhalation (B)	15-minutowy wysiłek o wzrastającej intensywności / a 15-minute intermittent step exercise	temperatura i wilgotność oraz temperatura skóry policzka wewnątrz maski były istotnie niższe w masce B niż w masce A. Temperatura rektalna i błony bębenkowej wzrastała wolniej podczas używania maski B / microclimate temperature, humidity, cheek skin temperature inside the mask were significantly lower in mask B than in mask A. Rectal and tympanic temperature increased more slowly with mask B than with mask A
Epstein i wsp. / et al. (2020) [54]	60 mężczyzn / men	maski chirurgiczne i maska N95 / medical masks and N95 masks	test maksymalny na ergometrze rowerowym / a maximal exercise test on a spinning bicycle	nie stwierdzono różnic w częstości skurczów serca, częstości oddechów, saturacji, ciśnieniu tętniczym ani długości trwania testu w zależności od rodzaju maski / no significant differences were found in HR, BE, BP, oxygen saturation, and time to exhaustion
Fikenzler i wsp. / et al. (2020) [55]	12 zdrowych mężczyzn / healthy men	maska chirurgiczne i FFP2/N95 / medical mask, and FFP2/N95 mask	ocena subiektywna i test wysiłkowy na ergometrze, kardiografia impedancyjna / subjective assessment, ergo-spirometry and impedance cardiography	wentylacja, wydolność krążeniowo-oddechowa i uczucie komfortu były ograniczone przez maski chirurgiczne, a maski FFP2/N95 istotnie pogarszały badane parametry / ventilation, cardiopulmonary exercise capacity and comfort were reduced by medical masks and highly impaired by FFP2/N95 face masks
Tian i wsp. / et al. (2020) [56]	40 ratowników medycznych / medical rescuers	maski chirurgiczne i N95 / medical masks and N95 masks	2-minutowa resuscytacja krążeniowo-oddechowa w warunkach modelowych z zastosowaniem manekina / 2-minute continuous chest compression on a manikin	częstość i głębokość uciśnięć klatki piersiowej były istotnie mniejsze u ratowników w maskach N95. Ocena zmęczenia wg skali Borga po tęście okazała się istotnie wyższa w grupie noszących maski N95 / significantly lower mean chest compression rates and depths were achieved in the rescuers wearing N95 masks. The score on the Borg Scale in the N95 group after the test was significantly higher
Person i wsp. / et al. (2018) [57]	44 osoby / persons	maska chirurgiczna / medical mask	test 6-minutowego chodu / a 6-minute walking test	brak istotnych różnic w pokonanym dystansie, częstości skurczów serca i w saturacji między testem w masce i bez maski. Większe nasilenie duszności podczas testu w masce (+5.6 vs +4.6) / the distance covered, HR and saturation were not significantly modified between the test performed with and without the mask. Dyspnea variation was significantly higher with the medical mask (+5.6 vs. +4.6)

Hua i wsp. / et al. (2020) [15]	20 ochotników / volunteers	miski chirurgiczne i N95 / medical masks and N95 masks	ocena parametrów skóry 2 godz. i 4 godz. po założeniu maski oraz 0,5 godz. i 1 godz. po jej zdjęciu / an assessment of skin physiological properties 2 and 4 h after putting on the mask, and 0.5 and 1 h after removing the mask	nawilżenie skóry, przekształcenie wody (TEWL), rumień, pH i wydzielanie <i>sebum</i> wzrosły podczas noszenia masek. Nie stwierdzono istotnych różnic w parametrach fizjologicznych skóry w zależności od rodzaju maski. Maski N95 powodowały większy dyskomfort / skin hydration, TEWL, sebum secretion, erythema and pH increased significantly with wearing the mask. There was no significant difference in physiological values depending on the type of mask. More discomfort was reported following a N95 mask use
Georgi i wsp. / et al. (2020) [58]	26 pracowników medycznych / health care workers	miski materiałowe, chirurgiczne i FFP2 / cloth, medical and FFP2 masks	test na ergometrze rowerowym z obciążeniami 50 W, 75 W i 100 W. Ocena dolegliwości subiektywnych i przekąsnego PtcCO ₂ , saturacji (SpO ₂), częstości skurczów serca (HR), oddechów (BF), ciśnienia tętniczego (BP) / a spinning bicycle test with loads of 50 W, 75 W and 100 W. An assessment of subjective ailments and transcutaneous PtcCO ₂ , saturation (SpO ₂), HR, BF, and arterial BP	PtcCO ₂ istotnie wzrosło w przypadku wszystkich rodzajów masek w porównaniu z testem bez maski. Nie stwierdzono istotnych różnic w zakresie HR, BF ani BP w zależności od rodzaju maski. Odczucie wyczerpania i dyskomfortu występowało częściej w przypadku maski FFP2 / P _e CO ₂ increased significantly for all types of masks as compared to exercise without a mask. No mask-specific changes were observed for HR, BF or BP. The subjective perception of exertion was reported more frequently while wearing the FFP2 mask

AVS – aktywna wentylacja przestrzeni pod maską / active venting system. BP – ciśnienie tętnicze / blood pressure, BF – częstość oddechów / breathing frequency, HR – częstość skurczów serca / heart rate, PCO₂ – ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla / partial pressure of carbon dioxide, P_eCO₂ – ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla w pomiarze przekąsnym / transcutaneous partial pressure of carbon dioxide, TEWL – przezmaszkórkowa utrata wody / transepidermal water loss.

z przerwami co 2 godz. Podczas przerw oceniali dyskomfort (w skali 10-stopniowej) i odczuwaną ciężkość pracy (w skali Borga).

Stwierdzono, że odczucie dyskomfortu wzrastało wraz z czasem użytkowania wszystkich typów masek. Po 8 godz. najlepiej oceniana była półmaska z nawiewem przefiltrowanego powietrza, a spośród modeli powszechnie stosowanych najmniej niewygodna okazała się maska chirurgiczna, a następnie maska kubelkowej kształtu z wentylem wydechowym (N95).

Wydaje się więc, że najważniejszą przyczyną negatywnych odczuć były parametry przestrzeni pod maską. Nawiew oczyszczonego powietrza eliminuje wszelkie niedogodności związane z gromadzeniem się pod maską powietrza wydychanego. Względnie mała uciążliwość maski chirurgicznej wynika z niewielkiej przestrzeni martwej, a maski wyposażonej w wentyl wydechowy – z ułatwienia wydechu i lepszego mikroklimatu pod maską. Te 2 rodzaje masek różnią się jednak przeznaczeniem. Maski chirurgiczna jest skuteczna w ochronie pola operacyjnego przed patogenami zawartymi w wydzielinach z dróg oddechowych podczas oddychania, kaszlu i kichania. Maski z wentylem wydechowym chronią natomiast użytkownika przed zewnętrznymi zanieczyszczeniami (np. przed smogiem) [3]. Techniczne aspekty różnego rodzaju masek w ochronie układu oddechowego omówiono w niedawno opublikowanych pracach [4–6].

Radonovich i wsp. starali się określić, jak długo mogą być tolerowane typowe maski noszone przez personel medyczny (maski chirurgiczne, maski N95 z wentylem wydechowym i bez niego) [7]. Badania przeprowadzono z udziałem 27 osób w warunkach naturalnych podczas trwającej 8 godz. pracy w szpitalu. Badani nosili maski tak długo, „jak mogli je tolerować”. Krócej niż 8 godz. maski chirurgiczne nosiło 48% użytkowników, maski N95 z wentylem – 52%, a maski N95 bez wentyla – 67%. Choć maski chirurgiczne i N95 z wentylem były noszone znacznie dłużej niż maski N95 bez wentyla (mediana, odpowiednio, 7,7 godz. i 5,8 godz.), to wszystkie powodowały jednak pewien dyskomfort (liczba skarg na maskę chirurgiczną wynosiła 17, na maskę N95 z wentylem – 24, a na maskę N95 bez wentyla – 25).

Rebmann i wsp. oceniali odczucia 10 pielęgniarek związane z długotrwałym (12 godz.) użytkowaniem masek N95 [8]. Kontrolowano liczbę przypadków i powody zdejmowania maski, a także pojawiające się dolegliwości. Stwierdzono, że średni czas noszenia maski przed jej zdjęciem wynosił ok. 224 min (ok. 214 min

przed pierwszym zdjęciem). Mniej więcej połowa sytuacji zdejmowania maski była spowodowana spożyciem posiłku, 25% wiązało się z zakończeniem zmiany, a pozostałe 25% – ze zgłoszonym dyskomfortem określanym jako „oddychanie stało się trudne”, „maska N95 jest niewygodna” i „nie mogę oddychać”. Zaobserwowano również, że pielęgniarki dotykały maski średnio 15 razy, twarzą poza maską – 6 razy, a poprawiały maskę – 8 razy w czasie zmiany (częściej na początku zmiany).

Ponadto w tym samym badaniu stwierdzono, że czynnikiem, który istotnie pogarszał tolerancję noszenia masek, był wskaźnik masy ciała (*body mass index* – BMI). U pielęgniarek z wyższym BMI noszenie maski cechowało się statystycznie istotnie większym negatywnym wpływem na objawy subiektywne niż u badanych z niższym BMI. Wyższe BMI wiązało się także z większymi subiektywnymi ocenami intensywności wysiłku, duszności i dyskomfortu, bólu głowy, zawrotów głowy, problemów ze wzrokiem i utrudnień komunikacji oraz częstszym występowaniem dolegliwości związanych z uczuciem ciepła podczas noszenia masek N95. Ponadto pielęgniarki z wyższym BMI zachowywały się bardziej ryzykownie – istotnie częściej dotykały maski [8].

Bóle głowy

Bóle głowy są charakterystycznym objawem u pracowników medycznych „pierwszej linii frontu”, gdzie kontakt z potencjalnie zakażonym pacjentem wymusza ciągle noszenie kombinezonów ochronnych, masek i gogli.

Badania dotyczące częstości występowania i nasilenia bólów głowy u personelu medycznego noszącego maski przeprowadzili Lim i wsp. w Singapurze podczas epidemii SARS w 2004 r. [9]. Stwierdzono, że spośród 212 pracowników medycznych noszących maski N95 aż 37,3% zgłosiło bóle głowy. Ryzyko wystąpienia bólu głowy, gdy czas noszenia maski przekraczał 4 godz., wynosiło 1,85 (95% CI: 0,99–3,43), a u osób zgłaszających bóle głowy w przeszłości – 1,97 (95% CI: 1,03–3,77).

Podczas obecnej pandemii SARS-CoV-2 Ong i wsp. analizowali częstość i przyczyny oraz okoliczności występowania bólów głowy u pracowników medycznych największego szpitala w Singapurze, w którym byli leczeni pacjenci z COVID-19 [10]. Stwierdzono, że bóle głowy występowały aż u 81% pracowników, którzy musieli stale nosić maski, a czynniki ryzyka były takie same: uprzednie występowanie takich dolegliwości (OR = 4,20, 95% CI: 1,48–15,40) oraz noszenie przez ponad 4 godz. maski N95 i gogli (OR = 3,91, 95% CI:

1,35–11,31). Choć intensywność bólów głowy nie była duża (70% badanych z bólem głowy nie odczuwało potrzeby stosowania leków przeciwbólowych), to jednak osoby, u których one występowały, wskazywały na przynajmniej niewielkie obniżenie sprawności (*performance*) w wykonywaniu pracy. Uwzględniając patomechanizm bólów głowy i ogólne konsekwencje noszenia masek, badacze zwracają uwagę, że czynniki mechaniczne (ucisk głowy przez taśmy mocujące maskę) nie mogą być jedyną przyczyną i należy również rozpatrywać hiperkardię oraz hipoksemię, a także stres [10].

Potwierdzenie roli CO₂ w indukowaniu bólów głowy uzyskano w dalszych badaniach przeprowadzonych w tej samej grupie pracowników medycznych [11]. U 154 osób wykonano dopplerowskie badanie ultrasonograficzne (*transcranial Doppler* – TCD) wewnątrzczaszkowego przepływu krwi podczas oddychania powietrzem otaczającym, po 5 min oddychania w masce N95 oraz 5 min od założenia maski N95 i kombinezonu z kapturem oraz wizjerem panoramicznym, do którego powietrze było dostarczane przez urządzenie filtrowentylacyjne PAPR (*powered air purifying respirator*) z filtrem HEPA (*high efficiency particulate air*).

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że prędkość przepływu krwi (*mean flow velocity* – mFV) w warunkach kontrolnych wynosiła 54,5±8,7 cm/s, w masce N95 – 61,4±8,2 cm/s, w masce N95 i PAPR – 59,9±8,8 cm/s, a wskaźnik pulsacji (*pulsatility index* – PI) odzwierciedlający podatność ściany tętnicy i otaczającej tkanki mózgowej wynosił, odpowiednio, 0,92±0,06, 0,81±0,06 i 0,91±0,06. W tych samych warunkach mierzono prężność CO₂ w końcowej porcji wydechu, która wynosiła, odpowiednio, 37,3±1,3 mm Hg, 40,4±1,6 mm Hg i 37,3±1,3 mm Hg.

Wykazano więc, że noszenie maski N95 było związane ze znacznym wzrostem końcowowydechowego ciśnienia CO₂ oraz zwiększeniem prędkości przepływu krwi w naczyniach mózgowych i spadkiem ich podatności wskazującymi na rozszerzenie naczyń mózgowych, co może indukować ból głowy. Założenie kombinezonu z PAPR niwelowało te zmiany prawdopodobnie na skutek nadciśnienia generowanego przez PAPR i zwiększenie stężenia tlenu pod maską. W ocenie osób badanych zestaw N95 i PAPR był znacznie mniej uciążliwy niż sama maska N95 [11].

Bóle głowy były najczęściej zgłaszanym działaniem niepożądanym całonocnego noszenia masek przez pracowników pierwszej linii frontu walki z COVID-19 w szpitalach w Nowym Jorku i okolicach [12]. Skarżyło się na nie 71,4% respondentów (15,2% stwierdziło, że

bóle głowy wystąpiły w ciągu pierwszej godz. noszenia maski, 30,6% – po 1 godz., a 29,7% – po ≥3 godz.). Tylko 24,5% badanych nie zgłosiło bólu głowy spowodowanego długotrwałym stosowaniem maski. Większość respondentów nie skarżyła się wcześniej na takie dolegliwości. Po zdjęciu maski bóle głowy ustąpiły u 14% respondentów w ciągu 30 min, u 33,8% – po 1 godz., a 28% respondentów potrzebowało leków do ich uśmierzenia.

Inne dolegliwość i i skargi użytkowników masek

Oprócz bólów głowy użytkownicy masek często zgłaszają inne dolegliwości, w tym trądzik, otarcia na grzbiecie nosa, swędzenie twarzy, wysypkę/podrażnienie [13,14] i dyskomfort związany ze zwiększoną temperaturą twarzy (ten problem będzie omówiony później). Większość z tych dolegliwości wynika ze stosowania ciasno dopasowanych masek medycznych N95. Luźne maski z materiału nie powinny powodować dyskomfortu na takim samym poziomie, jaki odnotowano u osób noszących maski medyczne.

Hua i wsp. u 20 ochotników oceniali parametry skóry po 2 godz. i 4 godz. od założenia maski (chirurgicznej i N95) oraz 0,5 godz. i 1 godz. od jej zdjęcia [15]. Stwierdzono, że chociaż noszenie masek wiązało się ze zwiększeniem nawilżenia skóry, przelnaskórkowej utraty wody (*transepidermal water loss* – TEWL), rumienia, pH i wydzielania *sebum*, to parametry fizjologiczne skóry nie różniły się istotnie w zależności od rodzaju maski. Odnotowano natomiast, że maski N95 powodowały większy dyskomfort [15].

Wielu użytkowników (szczególnie z ubytkiem słuchu) masek skarży się na to, że zakrywanie twarzy utrudnia im zrozumienie osoby mówiącej i poczucie więzi z nią. Największe znaczenie ma upośledzenie komunikacji w sytuacjach medycznych. Zakrycie twarzy wpływa na treść komunikacji i chęć angażowania się w rozmowę, zwiększa niepokój i stres oraz sprawia, że komunikacja staje się męcząca, frustrująca i zawstydzająca – zarówno dla osoby noszącej maskę, jak i dla słuchacza [16]. Uzasadnieniem pogorszenia komunikacji głosowej osób noszących maski może być to, że proste maski twarzowe wyciszają dźwięk o 3–4 dB, a maski N95 – aż do 12 dB. Największe obniżenie natężenia dźwięku stwierdzono w częstotliwościach między 2000 Hz a 7000 Hz, które są ważne dla zrozumiałości mowy [17].

Osoby, które podczas pracy nosiły maski stale, częściej niż noszące maski okazjonalnie zgłaszały, że

unikają używania głosu, a także większe były u nich objawy zmęczenia i zaburzeń głosu. Ponadto stali użytkownicy częściej skarżyli się na problemy z koordynacją mowy i oddechu [18].

Znaczenie wentyla wydechowego i innych udogodnień w masce

Rola wentyla wydechowego i korzyści jego stosowania były przedmiotem wielu badań. Guo i wsp. porównywali subiektywne oceny użytkowników kubelkowych sztywnych masek z wentylem wydechowym i bez niego [19]. Stwierdzono, że w masce z wentylem wydechowym mniejsze było uczucie zawilgocenia, gorąca i oporów podczas oddychania oraz mniejszy ogólny dyskomfort. W takiej masce niższe były również oceny zmęczenia wysiłkiem (chodzenie na bieżni z prędkością 6,4 km/godz.).

Podobne badania przeprowadzili Kim i wsp. [20]. U 20 osób noszących maski porównali subiektywne oceny ciężkości wysiłku (chodzenia po bieżni z prędkością 5,6 km/godz.) wykonywanego przez godzinę. Stwierdzono, że ocena ciężkości wysiłku tylko w masce 3M 9211 (płaska maska z wentylem wydechowym) nie różniła się istotnie w porównaniu z warunkami kontrolnymi (bez maski). W przypadku masek Moldex 2200 i Moldex 2300 (maski kubelkowe bez wentyla lub z wentylem) oraz 3M 9210 (płaska maska bez wentyla) oceny były natomiast istotnie wyższe niż w warunkach kontrolnych.

Roberge podsumował wyniki wielu badań, w których oceniano przydatność wentyli wydechowych [21]. Okazało się, że chociaż są one używane od dziesięcioleci, to przeprowadzono niewiele badań uwzględniających psychofizjologiczny wpływ wentyli wydechowych na użytkowników masek w warunkach wykonywania małego lub umiarkowanego wysiłku. Wykazano jednak, że najczęściej wentyle w różnym stopniu zmniejszają opory wydechowe i zwiększają rozpraszanie ciepła w martwej przestrzeni maski, a w konsekwencji obniżają temperaturę skóry objętej maską. Mają jednak mało znaczący wpływ na częstość oddechów, tętno, temperaturę ciała, zrozumiałość mowy, wilgotność oraz stężenia O_2 i CO_2 w przestrzeni pod maską.

Z podsumowania przeprowadzonych badań wynikało również, że wentyle wydechowe wpływały korzystnie na komfort użytkownika i tolerancję masek noszonych przez dłuższy czas lub przy dużej intensywności wysiłku [21]. Wentyl wydechowy w masce użytkowanej w warunkach spoczynku zwiększa natomiast opory podczas oddychania, na co wskazuje większe zmęczenie

mięśni pochyłych szyi i mięśni brzucha w porównaniu z sytuacją, gdy noszono maskę bez wentyla [22]. Ze względu na to, że wygoda wpływa na akceptację użytkownika maski i – w konsekwencji – na ochronę, uzasadnione są dalsze badania znaczenia rozwiązań technologicznych oraz opracowanie nowych masek dostosowanych do wysiłku o niskiej lub umiarkowanej intensywności.

Znaczną poprawę komfortu użytkownika masek i obniżenie ocen intensywności wysiłku wykonywanego w takich maskach miało zastosowanie aktywnej wentylacji przestrzeni pod maską (*active venting system* – AVS). Jest to wentyl wydechowy wspomagany małym, lekkim wiatraczkiem usprawniającym usuwanie powietrza spod maski [23]. Wykazano, że AVS jest szczególnie efektywny w usuwaniu CO_2 , przez co skład powietrza w przestrzeni martwej pod maską zbliża się do składu powietrza atmosferycznego [24].

Skład powietrza w przestrzeni pod maską

Często wskazywanym źródłem wszelkich uciążliwości są parametry powietrza, które gromadzi się pod maską i jest mieszaniną powietrza wydychanego oraz atmosferycznego. Powietrze wydychane zawiera więcej CO_2 i mniej O_2 niż atmosferyczne, dlatego istotna jest jego objętość, jaką się ponownie wdycha. Zhu i wsp. stwierdzili, że gdy na twarzy znajdowała się maska N95 (kubelkowa), ponad 60% powietrza wdychanego stanowiło powietrze wydychane w porównaniu z 1,2% w sytuacji nienoszenia maski [25].

Wzrost stężenia CO_2 w powietrzu wdychanym ma duże znaczenie fizjologiczne. Szczegółowo badano konsekwencje zmian stężenia CO_2 w powietrzu pomieszczeń. Kajtar i Herczeg przeprowadzili serię eksperymentów, w których oceniali wpływ stężenia CO_2 w pomieszczeniu w zakresie 0,06–0,5%. W każdej serii osoby badane przez 2×70 min wykonywały pracę umysłową (korektę tekstu) [26]. Dobrostan oceniano, stosując skale subiektywne, a także ustalono ilościowe i jakościowe wskaźniki wykonywania zadań umysłowych oraz rejestrowano parametry fizjologiczne [temperaturę skóry, ciśnienie tętnicze, rytm pracy serca i jego zmienność (*heart rate variability* – HRV)]. Stwierdzono, że gdy stężenie CO_2 w powietrzu wdychanym przekroczyło 0,3%, zaczęło się pogarszać samopoczucie badanych, zmiany HRV wskazywały, że wkładają oni więcej wysiłku w pracę umysłową oraz pogarszała się ich koncentracja uwagi.

Podobnie znaczące zmiany wydajności pracy umysłowej wraz ze wzrostem stężeń CO_2 w powietrzu

wdychanym obserwowali Satish i wsp. [27]. Okazało się, że gdy w pomieszczeniu, w którym przeprowadzono badanie, stężenie CO₂ w powietrzu wynosiło 0,1%, wystąpiło umiarkowane, ale statystycznie istotne, pogorszenie wyników badanych na 6 z 9 skal oceniających podejmowanie decyzji w porównaniu z sytuacją, w której stężenie CO₂ wynosiło 0,06%. Gdy stężenie CO₂ podniesiono do 0,25%, nastąpiło duże i statystycznie istotne pogorszenie wyników w 7 skalach oceniających zdolność decyzyjną, ale nastąpiła poprawa w skali aktywności umysłowej.

Fisk i wsp. przeprowadzili eksperyment polegający na udziale w grze komputerowej symulującej zarządzanie organizacją, co wymagało podejmowania decyzji [28]. Badanie odbywało się w pomieszczeniu, w którym stężenia CO₂ wynosiły 0,06%, 0,1% i 0,25%. Stwierdzono, że już w najniższym z nich występował mierzalny spadek zdolności intelektualnych badanych, a przy stężeniu CO₂ na poziomie 0,25% ich inicjatywa i myślenie strategiczne obniżały się do poziomu dysfunkcyjnego. W nieco mniejszym stopniu zmniejszały się zdolności wykorzystywania dostępnych informacji i szerokość spojrzenia na problem.

Rodeheffer i wsp. nie potwierdzili jednak takiego wpływu podwyższonego stężenia CO₂ na podejmowanie decyzji, wykazując brak różnic w zakresie 9 wskaźników w testach badających podejmowanie decyzji nawet w stężeniu CO₂ równym 1,5% [29].

Zhang i wsp. badali, w jakim stopniu na sprawność poznawczą wpływało przebywanie w pomieszczeniu, w którym stężenia CO₂ wynosiły 0,05%, 0,1% i 0,3%. Stwierdzono, że w stężeniach CO₂ równych 0,1% i 0,3% zmniejszała się szybkość dodawania, zwłaszcza wówczas, gdy źródłem CO₂ było powietrze wydechowe [30]. Pogarszały się również wyniki testu badającego uwagę wzrokową, ale poprawiało się wykonanie zadań wymagających uwagi i szybkiej reakcji. Wskazuje to na zwiększenie pobudzenia (stresu) w warunkach ekspozycji na podwyższone wartości CO₂.

W kolejnym badaniu ci sami autorzy [31] nie stwierdzili istotnych różnic w wykonywaniu prostych lub średnio trudnych testów poznawczych oraz niektórych zadań przypominających pracę biurową w warunkach stężeń CO₂ wynoszących 0,05% i 0,5%. Zanotowali jednak niewielki wzrost końcowo wydechowego ciśnienia CO₂ do wartości 39,75 mm Hg (wyjściowa: 38,25 mm Hg).

Azuma i wsp. podsumowali wyniki badań dotyczących wpływu ekspozycji inhalacyjnej na CO₂ na zdrowie ludzi i sprawność psychomotoryczną [32]. Wynika

z nich, że pod wpływem ekspozycji na CO₂ w stężeniach 0,05–0,5% w organizmie zachodzą widoczne, choć czasem niewielkie, przebiegające liniowo zmiany fizjologiczne w układzie krążenia i autonomicznym układzie nerwowym, w tym wzrost pCO₂ we krwi, podwyższone ciśnienie tętnicze, przyspieszenie rytmu serca i krążenia krwi oraz zwiększenie aktywności współczulnej. Badania eksperymentalne przeprowadzone u ludzi sugerują, że krótkotrwała ekspozycja na CO₂ w stężeniu powyżej 0,1% wpływa na zdolności poznawcze, w tym podejmowanie decyzji i rozwiązywanie problemów. Skutki te można tłumaczyć zmianami w układzie autonomicznym (wzrost pobudzenia, stres) będącymi reakcją na nieduży nawet wzrost stężenia CO₂ [32]. Chociaż wpływ narażenia na niskie stężenia CO₂ na sprawność poznawczą może być subkliniczny i odwracalny, to obniżona wydajność pracy lub uczenia się może istotnie wpłynąć na kompetencje zawodowe i nabytą wiedzę, co z kolei może mieć negatywne konsekwencje społeczno-ekonomiczne. Wynika z tego konieczność dalszych badań nad długoterminowymi skutkami takiej ekspozycji.

W badaniach epidemiologicznych wykazano, że liczne objawy występujące u ludzi przebywających w pomieszczeniach zamkniętych (*sick building syndrome*) mogą mieć związek z ekspozycją na stężenie CO₂ >0,07%. U dzieci eksponowanych w pomieszczeniach na stężenia CO₂ >0,1% występowały problemy ze strony układu oddechowego. Nie można jednak wykluczyć, że mogą być za to odpowiedzialne również inne, współistniejące zanieczyszczenia.

Kolejnych danych o wpływie niewielkiego wzrostu stężenia CO₂ w powietrzu wdychanym dostarczyły badania Magaña i wsp. [33]. W warunkach eksperymentalnych (symulator samochodu) porównywano efektywność prowadzenia pojazdu, gdy w kabinie stężenia CO₂ wynosiły powyżej lub poniżej 0,14%. W grupie kierowców przebywających w kabinie samochodu z wyższym stężeniem CO₂ zarejestrowano częstsze hamowanie, łamanie przepisów ruchu drogowego (o 95% – nieuzasadniona zmiana pasa ruchu, o 52% – przejeżdżanie na czerwonym świetle) oraz uczestnictwo w kolizjach (o 87%) niż w grupie kierowców prowadzących pojazd, w którego kabinie stężenie CO₂ było niższe [33].

Wszystkie opisane badania i skutki ekspozycji na podwyższone stężenie CO₂ odnoszą się do pomieszczeń zamkniętych, niedostatecznie wentylowanych, w których najpoważniejszym źródłem CO₂ jest człowiek. Wskazują one na to, jak duży i wielokierunkowy jest wpływ niewielkiego nawet wzrostu stężenia CO₂

w powietrzu wdychanym. W przestrzeni pod maskami chroniącymi drogi oddechowe stężenia CO₂ mogą być wielokrotnie wyższe.

Skład powietrza pod maską zależy od objętości przestrzeni pod nią, oporów wdechowych i wydechowych, wentylacji płuc (intensywności wysiłku) i czasu jej użytkowania. Wraz ze wzrostem intensywności wysiłku zwiększa się wentylacja płuc, a przez to wymiana powietrza pod maską, co powoduje zmniejszenie stężenia CO₂ i wzrost stężenia O₂. Ma to jednak znaczenie dopiero przy dużym wysiłku.

Roberge i wsp. zbadali skład powietrza w przestrzeni pod maską u osób chodzących po bieżni z prędkością odpowiadającą małemu i umiarkowanemu wysiłkowi w pracy pielęgniarki [34]. Badani nosili kubelkowe maski N95 FR bez wentyla lub z wentylem, który miał zmniejszać opory wydechowe. Stwierdzono, że pod maską bez wentyla tuż po rozpoczęciu małego wysiłku stężenie O₂ wynosiło 17,0%, a CO₂ – 3,0%, po 15 min, odpowiednio, 17,3% i 3,1%, a po godzinie – 16,6% i 2,9%. Podczas umiarkowanego wysiłku w tych samych punktach czasowych stężenia były niemal takie same (stężenie O₂ wynosiło 17,0%, 17,3% i 16,6%, a CO₂ – 3,0%, 3,2% i 2,8%). Nie stwierdzono, by wentyl wydechowy w istotnym stopniu zmieniał te wartości. Wykazano więc, że powietrze pod maską jest składem zbliżone do powietrza wydychanego, a rola wentyla wydechowego ujawni się prawdopodobnie dopiero podczas większego wysiłku [34].

Potwierdziły to badania Sinkule i wsp., z których wynikało, że szczytowe ciśnienie wydechowe pod maską przy zużyciu tlenu 1 l/min wynosiło 11 mm Hg w przypadku maski bez wentyla i 10 mm Hg – z wentylem, a przy zużyciu tlenu 3 l/min, odpowiednio, 27 mm Hg i 20 mm Hg [35].

Na stężenia O₂ i CO₂ pod maską wpływa jej kształt. Sinkule i wsp. porównywali także stężenia tych gazów pod różnego typu maskami i w warunkach różnego zużycia tlenu [35]. Stwierdzili, że najwyższe stężenie CO₂, rzędu 4–5%, było pod płaskimi maskami z poprzecznymi fałdami (jedna z wentylem wydechowym) przy zużyciu O₂ 0,5 l/min i pod 1 płaską i 1 kubelkową maską przy zużyciu tlenu 1,5 l/min. Dopiero przy większym zużyciu tlenu (i większej wentylacji płuc) stężenia CO₂ pod maskami obniżały się do ok. 2% [35].

Ponadto na stężenia O₂ i CO₂ pod maską wpływa mówienie. Powoduje ono skrócenie fazy wdechu i zmniejszenie częstości oddychania, co – zwłaszcza wtedy, gdy oddycha się w masce – skutkuje wzrostem stężenia CO₂ w przestrzeni martwej i hiperkapnią. Po przerwaniu

mówienia wzrasta częstość oddechów w celu obniżenia stężenia CO₂ w powietrzu pęcherzykowym [1].

Smith i wsp. oceniali skład powietrza pod maską u osób poddanych wysiłkowi wzrastającemu co 5 min [36]. Na każdym etapie obciążenia badani przez 3 min czytali tekst. W spoczynku stężenie CO₂ w powietrzu pod maską wynosiło średnio 1,5% w porównaniu z 21% podczas mówienia. W miarę wzrostu intensywności wysiłku (bez mówienia) obserwowano coraz niższe stężenia CO₂, (podczas największego obciążenia wynosiło już tylko 1,0%) i zmniejszało się znacznie mówienie jako czynnika zwiększającego stężenie CO₂ w przestrzeni martwej maski (podczas największego obciążenia i mówienia stężenie CO₂ pod maską wynosiło 1,4%). Ogólnie stężenie CO₂ w przestrzeni pod maską oceniono jako wysokie. U 3 uczestników badania w spoczynku podczas mówienia stwierdzono stężenie CO₂ >3% (100-krotność stężeń atmosferycznych). Jeden na 3 uczestników badania był ekspozowany na stężenie CO₂ >2% podczas wysiłku i mówienia. Osoby badane wykazywały jednak dobrą tolerancję takich warunków, o czym świadczyło niewystępowanie niepokojących objawów: bólu głowy, niewyraźnego widzenia lub zawrotów głowy [36].

Na istotne skutki zmian składu powietrza pod maską zwrócili uwagę Fletcher i wsp. [37]. U chirurga noszącego maskę o kształcie kaczego dziobu (Tecno Fluidshield PFR95) po trwającym 30 min zabiegu tracheostomii wystąpiły duszność, tachykardia i drżenie mięśni, co mogło wskazywać na hiperkapnię. Jak stwierdzono, końcowowdechowe ciśnienie CO₂ (mierzone kapnometrem przy ustach) wynosiło wówczas 6,3 kPa (47,3 mm Hg), co było wartością znacząco wyższą od prawidłowej [ok. 5,3 kPa (40 mm Hg)]. Ten wzrost ciśnienia CO₂ w powietrzu końcowowdechowym autorzy wiążą z ponownym wdychaniem powietrza wydechowego uwięzionego w dość dużej przestrzeni charakterystycznej dla tego typu maski [37].

Użytkowanie typowej maski chirurgicznej nie wiąże się z tak dużymi zmianami stężeń CO₂. Roberge i wsp. badali konsekwencje noszenia przez godzinę maski chirurgicznej, wprawdzie nie podczas operacji, tylko podczas chodzenia po bieżni z prędkością 5,6 km/godz. [38]. Po tym czasie w porównaniu z wysiłkiem bez maski u badanych zaobserwowano wyższą częstość skurczów serca (o 9,5/min, p < 0,001) i oddechów (o 1,6/min, p = 0,02). Przeskórny pomiar prężności CO₂ po wysiłku bez maski wskazywał 39,31 mm Hg, a w masce – 41,48 mm Hg (wzrost o 2,17 mm Hg, p = 0,0006). Nie nastąpiły żadne zmiany saturacji krwi – wartość średnia

1 godz. wysiłku w warunkach kontrolnych wynosiła 97,62%, a w masce – 97,54%. Końcowowdechowe stężenie CO₂ i przeskórny pomiar prężności CO₂ pośrednio wskazują na stężenie CO₂ w pęcherzykach płucnych, które – jak z tych pomiarów wynika – zmienia się w większym stopniu, gdy oddycha się przez maskę kubelkową o większej przestrzeni pod nią [38].

O ile podwyższeniu stężenia CO₂ w powietrzu w przestrzeni pod maską poświęcono wiele uwagi, o tyle konsekwencje obniżonych stężeń O₂ są najczęściej pomijane. Obniżenie stężenia O₂ w powietrzu, a właściwie ciśnienia parcjalego tlenu, jest zjawiskiem naturalnym w miarę wzrostu wysokości ponad poziom morza. Na poziomie morza wynosi ono 160 mm Hg (21,2 kPa), na wysokości ok. 1500 m – 133 mm Hg (17,7 kPa), czyli jest takie, jak gdyby w warunkach normalnego ciśnienia atmosferycznego w powietrzu było jedynie 17,5% O₂, a na wysokości ok. 2700 m ciśnienie parcjale tlenu wynosi 114 mm Hg (15,2 kPa), co odpowiada stężeniu tlenu 15% w warunkach normalnego ciśnienia atmosferycznego.

W pracy zawodowej ekspozycja na obniżone stężenia O₂ w powietrzu występuje w pomieszczeniach o kontrolowanej atmosferze w celach przeciwpożarowych (zawartość tlenu jest obniżana do ok. 18%, a maksymalnie do 14%), w przechowalniach owoców lub podczas lotów samolotem. Oddychanie powietrzem o zmniejszonej zawartości O₂ bywa również elementem treningu sportowego (zwłaszcza wytrzymałościowego).

Obniżenie prężności O₂ w powietrzu wdychanym skutkuje zmianami ciśnienia parcjalego O₂ w pęcherzykach płucnych i w krwi tętniczej (PaO₂). Jednocześnie zmienia się wysycenie hemoglobiny tlenem. Stan, w którym PaO₂ od prawidłowej wartości 100–80 mm Hg spada poniżej 80–70 mm Hg, określa się jako hipoksemię niewielką, >70–60 mm Hg – umiarkowaną, a <60 mm Hg – poważną.

Zmiany saturacji krwi spowodowane noszeniem maski opisali Beder i wsp. [39]. Zbadali oni 73 chirurgów wykonujących w maskach operacje trwające do 240 min. Porównując wartości przed- i pooperacyjne, stwierdzili, że po zabiegu saturacja zmniejszała się i to obniżenie rosło z czasem trwania zabiegu. Po zabiegach trwających do 60 min zmniejszenie saturacji było rzędu 1%, a po operacjach trwających 180–240 min – rzędu 2%. Stwierdzono, że obniżenie saturacji po zabiegu było istotnie większe u chirurgów w wieku >35 lat w porównaniu z ich młodszymi kolegami. Zaobserwowano również wzrost częstości tętna po operacjach (różnica była istotna statystycznie tylko

w grupie, w której czas trwania operacji wynosił 180–240 min). Częstość tętna była istotnie mniejsza u starszych chirurgów [39]. Wydaje się, że wobec związku między saturacją a sprawnością procesów poznawczych ten problem powinien stać się przedmiotem dalszych obserwacji oraz analiz.

Temperatura i wilgotność pod maską

Dodatkowym czynnikiem wpływającym na dyskomfort związany z noszeniem masek jest temperatura otoczenia i temperatura pod maską. Or i wsp. stwierdzili, że pracownicy medyczni korzystający z masek N95 i noszący typowe letnie ubrania (nie kombinezony) najlepiej czuli się w temperaturze 20–24°C, przy czym uczucie komfortu zmniejszał wzrost wilgotności [40]. Jednocześnie jednak badani oceniali, że konieczność stosowania maski podczas pracy jest tak uciążliwa, że nikt nie deklarował możliwości stałego jej noszenia przez 8 godz.

W badaniach laboratoryjnych wykazano, że temperatura skóry w okolicach ust i nozdrzy <34°C jest akceptowana przez większość osób noszących maski [41]. Kiedy temperatura skóry tych okolic przekracza 34,5°C, temperatura powietrza pod maską wynosi >33°C, a temperatura punktu rosy jest >20°C (wilgotność względna ok. 55%), dyskomfort staje się dla wielu osób nieakceptowalny [41].

Najczęstsze skargi zgłaszane przez użytkowników masek N95 FFR wynikają z odczuwania zwiększonej ciepłoty twarzy i ogólnego uczucia gorąca [19]. Fizjologicznym podłożem tych odczuć może być dodatkowy wydatek energetyczny związany z koniecznością pokonywania zwiększonych oporów podczas oddychania przez maskę, upośledzenie utraty ciepła z dróg oddechowych oraz zakłócenie konwekcji i parowania ze skóry twarzy. Odczucia związane ze zwiększoną percepcją termiczną nie powinny być bagatelizowane, gdyż są istotnym powodem nieprawidłowości w sposobie użytkowania masek, pogarszającymi lub niweczającymi ich funkcję ochronną (brak ścisłego dopasowania maski do twarzy, nieuzasadnione warunkami otoczenia uchylanie lub zdejmowanie maski).

Temperatura pod maską zależy w pewnym stopniu od jej konstrukcji. Roberge i wsp. u osób noszących maski płaskie (Moldex 2200 i 2300^a) i kubelkowe (3M 9210 i 9211^a) (gdzie a oznacza wyposażenie w wentyl wydechowy) badali, jak zmienia się temperatura skóry pod maską, na policzku obok maski i w okolicy nadbrzusza po stronie lewej oraz temperatura wnętrza ciała (mierzona za pomocą czujnika w polykanej kapsułce) [42]. Pomiary wykazały, że już po 1 godz.

użytkowania masek podczas wysiłku fizycznego (cho-
dzenie po bieżni z prędkością 5,6 km/godz.) temperatu-
ra skóry twarzy pod maską wzrastała w granicach 0,69–
–2,03°C, przy czym wzrost ten był większy pod ma-
skami płaskimi i nieco mniejszy w maskach z wenty-
lem wydechowym. Temperatury odkrytej części twa-
rzy i wewnętrzna w opisanych warunkach wzrosły
natomiast minimalnie. Kolejna godzina wysiłku nie
przyniosła istotnych zmian temperatury w badanych
okolicach. Jednocześnie stwierdzono, że o ile zawór wy-
dechowy może przyczynić się do rozpraszania ciepła
w przestrzeni martwej maski, o tyle nie daje żadnych
korzyści w poprawie wilgotności.

W takich samych warunkach eksperymentalnych
Roberge i wsp. badali wpływ noszenia maski chirurgicz-
nej na zmiany temperatury skóry pod maską oraz zmia-
ny innych parametrów fizjologicznych. Stwierdzili, że po
1 godz. temperatura skóry pod maską wzrosła o 1,7°C.
Oznacza to, że noszenie masek przez maks. 2 godz. przy
umiarkowanym tempie pracy nie powoduje znacznego
obciążenia termicznego [38]. Wzrost subiektywnego
odczucia ciepła jest tylko reakcją na podwyższenie
temperatury pod maską i wyższą temperaturę wdycha-
nego powietrza, a nie wynika ze wzrostu temperatury
wewnętrznej.

Li i wsp. porównywali parametry fizjologiczne re-
jestrowane podczas wysiłku u osób noszących ma-
ski chirurgiczne i kubelkowe (M3 82100) standardowe
i zmodyfikowane poprzez zastosowanie nanomateriału
w celu zwiększenia właściwości przeciwbakteryj-
nych [43]. Modyfikacja spowodowała pogrubienie
warstwy filtrującej masek o, odpowiednio, 0,05 mm
i 1,3 mm. Osoby badane chodziły po bieżni z prędko-
ścią 3,2 km/godz. przez 20 min, a następnie 4,8 km/
/godz. i 6,4 km/godz. po 5 min. Po każdym wysiłku na-
stępowała przerwa trwająca 10 min. Podczas ekspery-
mentu stwierdzono, że częstość skurczów serca wzrasta-
ła wraz z intensywnością wysiłku, a wzrost był istotnie
większy w maskach kubelkowych niż chirurgicznych.
Temperatura pod maską i temperatura skóry twarzy by-
ły istotnie wyższe w maskach kubelkowych niż chirur-
gicznych. Podobnie wilgotność powietrza pod maską
kubelkową była większa niż pod maską chirurgiczną.

Osoby badane gorzej oceniały maski kubelkowe niż
chirurgiczne pod względem wilgotności i ciepła pod
maską, oporów oddechowych, ogólnego dyskomfortu
i własnych preferencji. Dodanie nanomateriału – mi-
mo że nieco zwiększyło grubość warstw filtrujących –
nie miało istotnego znaczenia dla zmian częstości skur-
czów serca i oddechów, natomiast zwiększało istotnie

wilgotność i temperaturę pod maską [43]. Eksperyment
ten podkreśla znaczenie kształtu maski (gorsze paramet-
try w przypadku maski kubelkowej) oraz temperatury
i wilgotności pod maską jako kluczowych czynników
determinujących reakcje fizjologiczne i subiektywne
oceny.

Wzrost zawartości pary wodnej w powietrzu pod
maską jest zrozumiały, gdyż powietrze wydychane
jest w 100% wysyczone parą wodną. Kondensuje się
ona na wewnętrznej powierzchni maski, zmniejszając
przepuszczalność powietrza przez warstwy filtrujące
i zwiększając w ten sposób opór oddychania [44].

Znaczenie toru oddychania dla temperatury pod maską

Większość zdrowych osób dorosłych w spoczynku lub
podczas lekkiego wysiłku oddycha przez nos. Podobnie
jak intensywny wysiłek fizyczny stosowanie maski
najczęściej powoduje zmianę na oddychanie przez
usta [45]. Ma to swoje konsekwencje w wymianie cie-
pła, gdyż oddychanie przez nos wiąże się z mniejszą
utrata ciepła do środowiska niż oddychanie ustno-no-
sowe i przez usta, ponieważ część ciepła i wilgoci zawar-
tej w powietrzu wydechowym jest odzyskiwana przez
bogata w naczynia krwionośne błonę śluzową nosa i za-
tok przynosowych [45]. Błona śluzowa nosa zwykle od-
zyskuje 1/3 wody dostarczanej do wdechowego przepły-
wu powietrza z powietrza wydychanego [46]. Dlatego
straty ciepła i wody są większe przy oddychaniu przez
usta niż przez nos.

Badano również zależność temperatury mózgu od
sposobu (toru) oddychania. Hirata i wsp. zauważyli, że
temperatura błony bębenkowej była wyższa przy oddy-
chaniu przez usta, co sugeruje, że oddychanie przez nos
ochładza krew dopływającą do głowy [47]. Oddychanie
przez nos chłodnym powietrzem bezpośrednio chłodzi
okolicę podstawy mózgu (odległość między szczy-
tem jamy nosowej a dnem przedniego dołu czaszki jest
mniejsza niż 1 mm). Wzrost parowania z błony ślu-
zowej nosa poprzez intensywne oddychanie przez nos
wpływa więc bezpośrednio na temperaturę przednich
części mózgu.

Z przeglądu prac poświęconych wpływowi masek
na termoregulację wynika, że ich noszenie może nega-
tywnie wpływać na oddechowe i skórne mechanizmy
termoregulacji człowieka poprzez upośledzenie proce-
sów konwekcji, parowania i promieniowania. Wzrost
temperatury wewnętrznej przy niskim lub umiarkowa-
nym tempie pracy będzie jednak prawdopodobnie nie-
wielki, niezależnie od drogi oddychania, a odczuwanie

podwyższonej temperatury ciała może mieć charakter subiektywny [48].

Część twarzy, której temperatura wzrasta podczas użytkowania maski, stanowi jednak tylko 1–2% powierzchni ciała, stąd zrozumiałe, dlaczego jednocześnie nie występuje równie duży przyrost temperatury wewnętrznej (mierzonej w przełyku), może natomiast wzrastać temperatura błony bębenkowej i wnętrza jamy ustnej [49]. Bezpośredni udział użytkowania masek w koszcie metabolicznym jest niewielki: maska z niską/umiarkowaną wydajnością filtra (zazwyczaj skutkującą niższymi poziomami oporu przepływu powietrza – P1 i P2; odpowiednio, 80% i 94% filtracji) zwiększa metabolizm o 20 W/m², a dla masek z filtrami o wysokiej wydajności filtracji (P3; 99,95% filtracji) koszt metaboliczny rośnie o 40 W/m² [50].

Ten łagodny wpływ masek na wydatek energetyczny przy małym lub umiarkowanym wysiłku potwierdza również badanie Yip i wsp., w którym podczas zwykłych czynności w szpitalnym oddziale ratunkowym u 30 osób, które nosiły maski o niskiej oporności (tj. maski chirurgicznej i N95), stwierdzono wzrost temperatury błony bębenkowej tylko o, odpowiednio, 0,07°C i 0,03°C [51].

Podobnie Guo i wsp. stwierdzili, że podczas wysiłku na bieżni (prędkość 3,2 km/godz. przez 20 min, 4,6 km/godz. przez 10 min i 6,4 km/godz. przez 10 min, z 10-minutowymi okresami odpoczynku) temperatura błony bębenkowej wzrosła tylko o 0,2°C w masce z wentylem wydechowym (N95FFR-EV) i 0,6 °C w masce bez wentyla (N95 FR) [19].

Tylko Hayashi i Tokura wykazali, że temperatura błony bębenkowej pod koniec 3 serii 15-minutowego wysiłku o wzrastającej intensywności z 5-minutowymi okresami odpoczynku w warunkach otoczenia o temperaturze 28°C i wilgotności względnej 60% przyrastała w zakresie 0,25–0,5°C, gdy osoby badane nosiły maskę N95 FFR z wentylem wydechowym, a 0,25–1,4°C, gdy nosiły maskę N95 FFR bez wentyla [52]. Wzrost temperatury wewnętrznej (rektalnej) dla tego samego okresu ćwiczeń wynosił, odpowiednio, 0,7°C i 0,9°C. W tym eksperymencie osoby badane miały na sobie kombinzony ochronne, co mogło wpływać na wzrost temperatury (ale nie miało wpływu na różnice związane z rodzajem maski – z wentylem wydechowym vs bez wentyla).

Nie można wykluczyć, że wpływ noszenia masek na temperaturę ciała może się zwiększyć, gdy ich użytkowanie będzie dłuższe i nieprzerwane, zwłaszcza w wysokiej temperaturze i wilgotności otoczenia lub podczas wykonywania ciężkiej pracy.

U osób noszących maski w znaczącym stopniu wzrasta temperatura skóry na części twarzy, która jest nią osłonięta. We wspomnianym eksperymencie Hayashi i Tokura stwierdzili, że temperatura skóry pod maską z wentylem wydechowym wzrastała o 1,5°C, a o 2,1°C pod maską bez wentyla [52]. Taki wzrost temperatury pod maską jest odczuwany jako znaczny dyskomfort, gdyż jednocześnie poziom wilgotności względnej pod maską sięga 90–100%. Należy zaznaczyć, że wilgotność pod maską zależy od sposobu oddychania. Wykazano, że utrata wody z dróg oddechowych jest o 42% mniejsza podczas oddychania przez nos w porównaniu z oddychaniem przez usta ($1,9 \times 10^{-3}$ g/l min vs $2,7 \times 10^{-3}$ g/l min, $p < 0,001$) [53].

Korzystanie z maski a wysiłek fizyczny

Wysiłek maksymalny

Szczegółową analizę reakcji fizjologicznych na wysiłek fizyczny u osób noszących maski N95 lub chirurgiczne przeprowadzili Epstein i wsp. [54]. Przebadali oni 60 zdrowych, niepalących tytoniu mężczyzn w wieku >18 lat (34 ± 4 lata) podczas wykonywania na ergometrze rowerowym wysiłku o wzrastającej intensywności do momentu odmowy kontynuowania wysiłku. W tym badaniu nie wykazano negatywnego wpływu noszenia obu rodzajów masek. Czas wysiłku do odmowy wynosił $18,9 \pm 3,7$ min bez maski, $18,3 \pm 3,7$ min z maską chirurgiczną i $18,5 \pm 3,6$ min z maską N95. Różnice nie były istotne statystycznie.

Skurczowe ciśnienie tętnicze w momencie końca wysiłku z maską N95 było nieco wyższe niż bez maski lub z maską chirurgiczną, ale różnice również nie były istotne statystycznie (147 ± 16 mm Hg z N95, 143 ± 14 mm Hg bez maski, 143 ± 16 mm Hg z maską chirurgiczną). Różnice pozostałych parametrów fizjologicznych (częstość skurczów serca, częstość oddechów, saturacja) i subiektywna ocena intensywności wysiłku nie były istotne statystycznie na żadnym etapie wysiłku. U osób ćwiczących w maskach chirurgicznych w porównaniu z osobami bez masek nie występowały istotne różnice końcowo wydechowego stężenia CO₂ (EtCO₂) nawet w ostatnim etapie wysiłku. Noszenie maski N95 wiązało się natomiast z wyższymi wartościami EtCO₂ w większości faz wysiłku w porównaniu z wysiłkiem wykonywanym bez maski. Wprawdzie jest mało prawdopodobne, by ten wzrost EtCO₂ wywoływał ostre objawy u zdrowych uczestników, ale może jednak powodować niewielką duszność i towarzyszący jej dyskomfort [54].

Z innych badań wynika jednak, że maski chirurgiczne w mniejszym, a maski FFP2/N95 w większym stopniu

wyraźnie negatywnie wpływają na parametry charakteryzujące wysiłek maksymalny. Fikenzer i wsp. przebadali 12 zdrowych mężczyzn w wieku $38,1 \pm 6,2$ roku w warunkach spoczynkowych i podczas wysiłku o wzrastającej intensywności do momentu odmowy [55]. Maksymalny wysiłek bez maski wynosił średnio $277 \pm 45,9$ W, w masce chirurgicznej – $269 \pm 45,1$ W, a w masce FFP2/N95 – $263 \pm 41,7$ W. Maksymalny pobór tlenu wynosił, odpowiednio, $39,7 \pm 5,8$ ml/min/kg, $37,9 \pm 6,0$ ml/min/kg i $34,5 \pm 5,3$ ml/min/kg. Obie maski znacząco obniżały parametry charakteryzujące funkcjonowanie układu oddechowego w spoczynku [pojemność życiową płuc (*vital capacity* – VC), objętość wydechową pierwszosekundową (*forced expiratory volume in 1 s* – FEV₁), szczytowy przepływ wydechowy (*peak expiratory flow* – PEF)] oraz przy maksymalnym obciążeniu [wentylację wysiłkową (*ventilation* – VE), częstość oddechów (*breathing frequency* – BF), objętość oddechową (*tidal volume* – TV)]. Ponadto noszenie masek było postrzegane jako bardzo niewygodne z wyraźnym wpływem na subiektywny opór oddychania w przypadku maski FFP2/N95 [55].

Takie różnice podczas maksymalnego wysiłku w połączeniu z danymi uzyskanymi w spoczynku wskazują na obniżoną czynność płuc podczas noszenia masek FFP2/N95, a nawet masek chirurgicznych. Z porównania z wartościami uzyskanymi podczas pomiarów bez maski wynika, że występuje znaczące ograniczenie czynności krążeniowo-oddechowej, zwłaszcza gdy ćwiczenia są wykonywane z dużą intensywnością.

Pogorszenie sprawności funkcjonowania organizmu podczas dużego wysiłku wykonywanego w masce może się przełożyć na efektywność pracy. Przykładem mogą być wyniki badania Tian i wsp., którzy oceniali (w warunkach modelowych) zmęczenie ratowników i jakość uciskania klatki piersiowej podczas 2-minutowej resuscytacji krążeniowo-oddechowej wykonywanej w masce chirurgicznej lub N95 [56]. Mierzono częstość i głębokość uciśnień, częstość tętna, ciśnienie tętnicze i saturację oraz częstość oddychania, a także zmęczenie uczestników (wg skali Borga). Zarówno częstość, jak i głębokość uciśnień klatki piersiowej były istotnie mniejsze w grupie badanych noszących maski N95 w porównaniu z noszącymi maski chirurgiczne.

Ponadto odsetek osób, których szybkość i głębokość uciśnień była prawidłowa, był istotnie mniejszy w grupie noszących maski N95 (odpowiednio, 61 ± 19 vs 75 ± 19 , $p = 0,0067$, oraz 67 ± 16 vs 90 ± 14 , $p < 0,0001$). Nie stwierdzono istotnych różnic w częstości tętna,

ciśnieniu tętniczym, saturacji ani częstości oddechów pomiędzy obydwoma grupami. Pod koniec procedury reanimacji wynik w skali Borga w grupie noszących maski N95 był jednak znacznie wyższy niż w grupie noszących maski chirurgiczne [średnio 16 (zakres: 14–18) vs 14 (zakres: 13–16), $p = 0,027$]. Autorzy sugerują zwiększenie częstości wymiany ratowników noszących maski N95 podczas resuscytacji, ponieważ zwiększone zmęczenie ratownika obniża jakość ucisku klatki piersiowej podczas tej procedury [56].

Wysiłek umiarkowany

Kim i wsp. wykazali, że stosowanie maski N95 bez wentyla i z wentylem wydechowym przez młode, zdrowe osoby podczas umiarkowanego godzinowego wysiłku (5,6 mili/godz.) ma niewielki i nieistotny wpływ na saturację hemoglobiny [20]. Istotny okazał się natomiast wzrost częstości oddechów, średnio o $1,4$ – $2,4$ /min, i częstości skurczów serca, średnio o $5,7$ – $10,6$ /min. Stwierdzono jednocześnie, że wystąpił niedający objawów klinicznych, ale istotny wzrost PCO₂, średnio o $1,7$ – $3,0$ mm Hg (pomiar przezskórny). Noszenie maski chirurgicznej podczas takiego samego wysiłku powodowało wzrost częstości skurczów serca o ok. $9,5$ /min, częstości oddechów średnio o $1,6$ /min oraz pCO₂ średnio o $2,17$ mm Hg [38].

Z danych tych wynika, że umiarkowany wysiłek w masce wywołuje bardziej nasilone reakcje fizjologiczne niż taki sam wysiłek bez maski, ale różnice są niewielkie, choć subiektywnie mogą być odczuwalne. Jest to przede wszystkim uczucie duszności. Person i wsp. stwierdzili, że podczas testu 6-minutowego chodu wykonywanego przez osoby zdrowe w masce nie stwierdzono istotnych różnic w pokonanym dystansie, częstości skurczów serca i saturacji hemoglobiny w porównaniu z sytuacją, gdy te same osoby wykonywały test bez maski. Jediną różnicą był stopień duszności, który wynosił w masce $+5,6$, a bez maski $+4,6$ [57].

Georgi i wsp. badali reakcję fizjologiczną i dolegliwości subiektywne u 26 pracowników medycznych podczas testu wysiłkowego o wzrastającej intensywności na ergometrze rowerowym [58]. Osoby badane wykonywały test w masce materiałowej, chirurgicznej i FFP2. Analizowano przezskórne PtCO₂, saturację (SpO₂), częstość skurczów serca (*heart rate* – HR), oddechów (*breathing frequency* – BF) i ciśnienie tętnicze (*blood pressure* – BP). Stwierdzono, że PtcCO₂ było istotnie wyższe w przypadku wszystkich rodzajów masek w porównaniu z testem bez maski. Nie zanotowano istotnych różnic w zakresie HR, BF i BP

w zależności od rodzaju maski. Odczucie wyczerpania i dyskomfortu występowało częściej w przypadku maski FFP2 [58].

Konsekwencje noszenia masek przez ciężarne

Roeckner i wsp. podsumowali wyniki 4 badań dotyczących możliwości noszenia maski P95 przez kobiety w ciąży [59]. Wynika z nich, że gdy maski N95 były stosowane przez ciężarne przez krótki czas, nie stwierdzano znaczących różnic w porównaniu z reakcjami obserwowanymi u kobiet niebędących w ciąży w zakresie częstości skurczów serca matki, częstości oddechów i wysycenia tlenem hemoglobiny. Nie stwierdzono również istotnych zmian częstości skurczów serca płodu u kobiet w ciąży stosujących N95 przez krótki czas. Przeprowadzone badania nie pozwalają jednak na wyciągnięcie wniosków dotyczących długotrwałego stosowania masek N95 FFR przez ciężarne [59].

Organizacja pracy dla osób noszących maski

Racjonalne zasady organizacji pracy, jak wiadomo, przewidują odpowiednie przerwy. Praca w masce, jak również w sytuacji konieczności stosowania innych ochron osobistych zwiększających dyskomfort, powinna być zaliczana do prac szczególnie uciążliwych, co skutkuje możliwością wprowadzania dodatkowych przerw w pracy, poza wynikającą z Kodeksu pracy 15-minutową przerwą, zwaną popularnie śniadaniową. W przypadku noszenia masek, planując przerwy, trzeba brać pod uwagę nie tylko zmęczenie pracownika, ale również czas, przez jaki maska może być noszona. Jak już wskazywano, długotrwałe użytkowanie maski powoduje jej zawilgocenie, co nie tylko zmienia jej właściwości filtracyjne, ale zwiększa opory oddychania i ogólny dyskomfort.

Trudno jednoznacznie określić czas, po jakim to nastąpi, gdyż zależy on od takich czynników jak temperatura otoczenia i tor oddychania. Według wytycznych Światowej Organizacji Zdrowia [60] maksymalny czas nieprzerwanego noszenia maski medycznej wynosi 6 godz. Ponadto zaleca się wymianę maski, gdy jest mokra, zabrudzona lub uszkodzona bądź gdy trudno w niej oddychać. Wprawdzie każda wymiana maski to dodatkowa przerwa w pracy, lecz nie zwalnia to pracodawcy z obowiązku wyznaczania regulaminowych przerw.

Przerwy w noszeniu masek są również uzasadnione koniecznością powrotu do normy prężności O_2 i CO_2 . Jak wspomniano, skład powietrza pod maską znacznie różni się od powietrza atmosferycznego, a związana z tym

różnego stopnia hipoksja i hiperkapnia jest przyczyną zaburzeń, przede wszystkim bólów głowy. Bóle głowy rozpoczynały się już w czasie krótszym niż 1 godz. po założeniu maski, a ustępowały po ok. 30 min po jej zdjęciu [10], co trudno traktować jako wytyczną do ustalania przerw w pracy. Ich występowanie powinno być jednak poważną przesłanką do wprowadzenia stosunkowo częstych przerw w pracy.

Mimo znacznej liczby publikacji o pracy w maskach konkretnych opisów organizacji pracy jest niewiele. Jako przykład mogą służyć dane Shenal i wsp. [3]. W szpitalu, w którym prowadzili oni badania komfortu użytkowania różnych typów masek, obowiązywał następujący schemat przerw w czasie 8-godzinnego dnia pracy: dwie 15-minutowe przerwy w noszeniu maski po 2 i 6 godz. pracy oraz 30-minutowa przerwa po 4 godz. pracy.

Należy podkreślić, że rytm pracy i przerw w noszeniu maski powinien uwzględniać indywidualne ograniczenia pracownika.

WNIOSKI

Analiza przedstawionych badań wskazuje, że niezależnie od rodzaju i typu noszonej maski, mogą one w różnym stopniu nasilać reakcje organizmu, zwiększając koszt fizjologiczny jego funkcjonowania, pogarszając sprawność wykonywania wysiłku zarówno fizycznego, jak i umysłowego oraz zwiększać poczucie zmęczenia i dyskomfortu.

Ponadto noszenie masek może przyczyniać się do występowania bólów głowy, które były najczęstszym zgłaszanym działaniem niepożądanym całodniowego używania masek, ale bóle te nie były bardzo nasilone i u większości osób ustępowały samoistnie. U użytkowników masek często występowały także inne dolegliwości, w tym trądzik, otarcia na grzbiecie nosa, swędzenie twarzy oraz wysypka i podrażnienie skóry.

Korzystanie z masek jest związane również ze stresem, którego źródłem są same okoliczności powodujące konieczność ich noszenia i odczucia dyskomfortu. Istotnym problemem są także utrudnione kontakty z innymi osobami i uczucie izolacji wynikające z kłopotów ze zrozumieniem mowy. Szczególnie dotkliwe jest to dla osób z ubytkiem słuchu, gdyż proste maski twarzowe wyciszają dźwięk o 3–4 dB, a maski N95 – aż do 12 dB.

Uczucie dyskomfortu jest także związane ze wzrostem temperatury skóry i wysokim (90–100%) poziomem wilgotności względnej pod maską, co w znacznym stopniu zależy od toru oddychania. Znacznie

korzystniejsze jest oddychania przez nos w porównaniu z oddychaniem przez usta, gdyż utrata wody z dróg oddechowych jest w tym przypadku o 42% mniejsza i powoduje mniejsze zawilgocenie powietrza pod maską.

Z badań wynika, że najważniejszym parametrem decydującym o komforcie użytkownika maski jest jej kształt determinujący objętość powietrza gromadzącego się pod maską. Skład powietrza pod maską jest zbliżony do powietrza wydychanego, a jego objętość zwiększa fizjologiczną przestrzeń martwą. Mimo, że powietrze pod maską z obniżonym stężeniem O_2 i zwiększonym stężeniem CO_2 stanowi jedynie część objętości powietrza wdychanego, u użytkowników masek stwierdzano wzrost stężenia CO_2 w pęcherzykach płucnych. Zmiany te były większe, gdy stosowano maski o większej przestrzeni pod maską (maski kubelkowe). Obserwowano również spadek saturacji, zwiększający się z czasem użytkowania masek. Maski chirurgiczne w mniejszym, a maski FFP2/N95 w większym stopniu negatywnie wpływały na efektywność czynności wymagających wysiłku maksymalnego.

Porównując odczucia osób noszących różne typy masek, można stwierdzić, że maski z wentylem wydechowym powodują mniejsze uczucie zawilgocenia, gorąca, oporów podczas oddychania oraz mniejszy ogólny dyskomfort. Znaczną poprawę komfortu użytkowania masek i obniżenie ocen intensywności wysiłku może mieć zastosowanie aktywnej wentylacji przestrzeni pod maską (*active venting system* – AVS).

Dotychczas przeprowadzono jednak niewiele badań dotyczących akceptacji użytkowania różnych rodzajów masek, uzasadnione są więc dalsze prace w zakresie rozwiązań technologicznych oraz opracowanie nowych typów masek dostosowanych do różnych celów.

Dyskomfort związany z noszeniem maski można zmniejszyć poprzez stosowanie odpowiednich przerw. Przerwy takie są uzasadnione, gdyż zarówno praca w masce, jak i konieczność stosowania innych środków ochrony osobistej zwiększających dyskomfort powinna być zaliczana do prac szczególnie uciążliwych. W związku z tym pracodawca może (a nawet powinien) wprowadzać dodatkowe przerwy, poza 15-minutową, wynikającą z Kodeksu pracy. Według wytycznych WHO maksymalny czas nieprzerwanego noszenia maski medycznej wynosi 6 godz. Mimo że badania wskazują, że fizjologiczna reakcja na noszenie masek jest niewielka, to jednak należy brać pod uwagę także skutki psychologiczne, które mogą się przyczynić do kontrowersji związanych z ich noszeniem. Potrzebne są dalsze badania, aby określić wpływ noszenia masek z różnych rodzajów

materiałów na aktywność codzienną i fizyczną o różnej intensywności u osób zarówno zdrowych, jak i z różnymi schorzeniami [61].

Bez względu na pewne uciążliwości związane z używaniem masek są one niezbędne do ochrony przed czynnikami szkodliwymi w środowiskach pracy i komunalnym, a w okresie panującej obecnie pandemii SARS-CoV-2 stają się koniecznością.

PIŚMIENNICTWO

1. Trzebski A.: Fizjologia oddychania. W: Traczyk W.Z., Trzebski A. [red.]. Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej. PZW, Warszawa 2001. ss. 629–717
2. Caretti D.M., Coyne K., Johnson A., Scott W., Koh F.: Performance when breathing through different respirator inhalation and exhalation resistances during hard work. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2006;3(4):214–24, <https://doi.org/10.1080/15459620600601677>
3. Shenal B.V., Radonovich L.J. Jr, Cheng J., Hodgson M., Bender B.S.: Discomfort and exertion associated with prolonged wear of respiratory protection in a health care setting. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2012;9(1):59–64, <https://doi.org/10.1080/15459624.2012.635133>
4. Majchrzycka K., Okrasa M., Szulc J.: Respiratory Protection Against Hazardous Biological Agents. CRC Press, 2020
5. Makowski K.: Dobór sprzętu filtrującego do ochrony układu oddechowego przed nanocząstkami – w tym wirusami, *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka Praktyka* 2020;4(583):14–19
6. Brochocka A., Makowski K.: Półmaski filtrujące do ochrony układu oddechowego przed aerozolami zawierającymi nanocząstki. *Przem. Chem.* 2014;93(1):1000–1005
7. Radonovich L.J. Jr, Cheng J., Shenal B.V., Hodgson M., Bender B.S.: Respirator tolerance in health care workers. *JAMA* 2009;301(1):36–38, <https://doi.org/10.1001/jama.2008.894>
8. Rebmann T., Carrico R., Wang J.: Physiologic and other effects and compliance with long-term respirator use among medical intensive care unit nurses. *Am. J. Infect. Control.* 2013;41(12):1218–1223, <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2013.02.017>
9. Lim E.C.H., Seet R.C.S., Lee K-H., Wilder-Smith E.P.V., Chuah B.Y.S., Ong B.K.C.: Headaches and the N95 face-mask amongst healthcare providers. *Acta Neurol. Scand.* 2006;113(3):199–202, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2005.00560.x>
10. Ong J.J.Y., Bharatendu C., Goh Y., Tang JZY, Sooi KWX, Tan Y.L. i wsp.: Headaches Associated With Personal Protective Equipment – A Cross-Sectional Study Among

- Frontline Healthcare Workers During COVID-19. *Headache* 2020;60(5):864–877, <https://doi.org/10.1111/head.13811>
11. Bharatendu C., Ong J.J.Y., Goh Y., Tan B.Y.Q., Chan A.C.Y., Tang J.Z.Y. i wsp.: Powered Air Purifying Respirator (PAPR) restores the N95 face mask induced cerebral hemodynamic alterations among Healthcare Workers during COVID-19 Outbreak. *J. Neurol. Sci.* 2020;417:117078, <https://doi.org/10.1016/j.jns.2020.117078>
 12. Rosner E.: Adverse Effects of Prolonged Mask Use among Healthcare Professionals during COVID-19. *J. Infect. Dis. Epidemiol.* 2020;6(3):130, <https://doi.org/10.23937/2474-3658/1510130>
 13. Tuchendler E., Lelonek E., Biała M., Rymer W.: Powikłania skórne u personelu medycznego długotrwale stosującego środki ochrony indywidualnej przed zakażeniami. *Med. Prakt.* 2020;6:34–35
 14. Szepietowski J.C., Matusiak Ł., Szepietowska M., Krajewski P.K., Białynicki-Birula R.: Face Mask-induced Itch: A Self-questionnaire Study of 2,315 Responders During the COVID-19 Pandemic. *Acta Derm Venereol.* 2020; 100(10):adv00152, <https://doi.org/10.2340/00015555-3536>
 15. Hua W., Zuo Y., Wan R., Xiong L., Tang J., Zou L. i wsp.: Short-term skin reactions following use of N95 respirators and medical masks. *Contact Dermatitis* 2020;83(2):115–121, <https://doi.org/10.1111/cod.13601>
 16. Saunders G.H., Jackson I.R., Visram A.S.: Impacts of face coverings on communication: an indirect impact of COVID-19. *Int. J. Audiol.* 2020;27:1–12, <https://doi.org/10.1080/14992027.2020.1851401>
 17. Goldin A., Weinstein B., Shiman N.: How do medical masks degrade speech perception? *Hear Rev.* 2020;27:8–9
 18. Ribeiro V.V., Dassie-Leite A.P., Pereira E.C., Santos A.D.N., Martins P., Irineu R.A.: Effect of Wearing a Face Mask on Vocal Self-Perception during a Pandemic. *J. Voice* 2020; S0892-1997(20):30356–30358, <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.09.006>
 19. Guo Y.P., Yi L., Tokura H., Wong T.K., Chung J.W., Gohel M.D. i wsp.: Evaluation on masks with exhaust valves and with exhaust holes from physiological and subjective responses. *J. Physiol. Anthropol.* 2008;27(2):93–102, <https://doi.org/10.2114/jpa2.27.93>
 20. Kim J.H., Benson S.M., Roberge R.J.: Pulmonary and heart rate responses to wearing N95 filtering facepiece respirators. *Am. J. Infect. Control.* 2013;41(1):24–27, <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2012.02.037>
 21. Roberge R.J. Are exhalation valves on N95 filtering facepiece respirators beneficial at low-moderate work rates: an overview. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2012;9(11):617–623, <https://doi.org/10.1080/15459624.2012.715066>
 22. Chen Y., Yang Z., Wang J., Gong H.: Physiological and subjective responses to breathing resistance of N95 filtering facepiece respirators in still-sitting and walking. *Int. J. Ind. Ergon.* 2016;53:93–101, <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.11.002>
 23. Seng M., Wee L.E., Zhao X., Cook A.R., Chia S.E., Lee V.J.: Comfort and exertion while using filtering facepiece respirators with exhalation valve and an active venting system among male military personnel. *Singapore Med. J.* 2018; 59(6):327–334, <https://doi.org/10.11622/smedj.2017054>
 24. Birgersson E., Tang E.H., Lee W.L., Sak K.J.: Reduction of carbon dioxide in filtering facepiece respirators with an active-venting system: a computational study. *PLoS One* 2015;10:e0130306, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130306>
 25. Zhu J.H., Lee S.J., Wang D.Y., Lee H.P.: Evaluation of re-breathed air in human nasal cavity with N95 respirator: a CFD study. *Trauma Emerg. Care* 2016;1(2):15–18, <https://doi.org/10.15761/TEC.1000106>
 26. Kajtár L., Herczeg L.: Influence of carbon-dioxide concentration on human well-being and intensity of mental work. *Q.J. Hungari. Meteor. Serv.* 2012;116:145–169
 27. Satish U., Mendell M.J., Shekhar K., Hotchi T., Sullivan D., Streufert S. i wsp.: Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environ. Health Perspect.* 2012;120(12):1671–1677, <https://doi.org/10.1289/ehp.1104789>
 28. Fisk W.J., Satish U., Mendell M.J., Hotchi T., Sullivan D.: Is CO₂ an Indoor Pollutant? Higher Levels of CO₂ May Diminish Decision Making Performance. *ASHRAE J.* 2013;55(3), https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/lbnl-6148e-is_co2_an_indoor_pollutant_v3.pdf
 29. Rodeheffer C.D., Chabal S., Clarke J.M., Fothergill D.M.: Acute exposure to low-to-moderate carbon dioxide levels and submariner decision making. *Aerosp. Med. Hum. Perform.* 2018;89(6):520–525, <https://doi.org/10.3357/AMHP.5010.2018>
 30. Zhang X., Wargocki P., Lian Z.: Effects of Exposure to Carbon Dioxide and Human Bioeffluents on Cognitive Performance. *Procedia Engineering* 2015;121:138–142, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.1040>
 31. Zhang X., Wargocki P., Lian Z.: Human Responses to Carbon Dioxide, a Follow-up Study at Recommended Exposure Limits in Non-industrial Environments, Building and Environment 2016;100:162–171, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.02.014>
 32. Azuma K., Kagi N., Yanagi U., Osawa H.: Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and

- psychomotor performance. *Environ. Int.* 2018;121(part 1): 51–56, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.059>
33. Magaña V.C., Scherz W.D., Seepold R., Madrid N.M., Pañeda X.G., Garcia R.: The Effects of the Driver's Mental State and Passenger Compartment Conditions on Driving Performance and Driving Stress. *Sensors (Basel)*. 2020; 20(18):5274, <https://doi.org/10.3390/s20185274>
34. Roberge R.J., Coca A., Williams J., Powell J.B., Palmiero A.J.: Physiological impact of the N95 filtering facepiece respirator on healthcare workers. *Respiratory Care* 2010; 55(5):569–577
35. Sinkule E.J., Powell J.B., Goss F.L.: Evaluation of N95 respirator use with a surgical mask cover: effects on breathing resistance and inhaled carbon dioxide. *Ann. Occup. Hyg.* 2013;57(3):384–398, <https://doi.org/10.1093/annhyg/mes068>
36. Smith C.L., Whitelaw J.L., Davies B.: Carbon dioxide re-breathing in respiratory protective devices: influence of speech and work rate in full-face masks. *Ergonomics* 2013;56(5):781–790, <https://doi.org/10.1080/00140139>
37. Fletcher S.J., Clark M., Stanley P.J.: Carbon Dioxide Re-Breathing With Close Fitting Face Respirator Masks. *Anaesthesia* 2006;61(9):910, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2006.04767.x>
38. Roberge R.J., Kim J.H., Benson S.M.: Absence of consequential changes in physiological, thermal and subjective responses from wearing a surgical mask. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 2012a;181(1):29–35, <https://doi.org/10.1016/j.resp.2012.01.010>
39. Beder A., Büyükkoçak Ü., Sabuncuoğlu H., Keskil Z.A., Keskil S.: Preliminary report on surgical mask induced deoxygenation during major surgery. *Neurocirugía (Astur)* 2008;19(2):121–126, [https://doi.org/10.1016/s1130-1473\(08\)70235-5](https://doi.org/10.1016/s1130-1473(08)70235-5)
40. Or P.P., Chung J.W., Wong T.K.: A study of environmental factors affecting nurses' comfort and protection in wearing N95 respirators during bedside procedures. *J. Clin. Nurs.* 2018;27(7–8):e1477–e1484, <https://doi.org/10.1111/jocn.14268>
41. Gwosdow A.R., Nielsen R., Berglund L.G., DuBois A.B., Tremml P.G.: Effect of thermal conditions on acceptability of respiratory protective devices in humans at rest. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1989;50(4):188–195, <https://doi.org/10.1080/15298668991374499>
42. Roberge R., Benson S., Kim J.H.: Thermal burden of N95 filtering facepiece respirators. *Ann. Occup. Hyg.* 2012a;56(7):808–814, <https://doi.org/10.1093/annhyg/mes001>
43. Li Y., Tokura H., Guo Y.P., Wong A.S.W., Wong T.K.S., Chung J.W.Y. i wsp.: Effects of wearing N95 and surgical facemasks on heart rate, thermal stress and subjective sensations. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2005;78:501–509, <https://doi.org/10.1007/s00420-004-0584-4>
44. Mardimae A., Slessarev M., Han J., Sasano H., Sasano N., Azami T. i wsp.: Modified N95 mask delivers high inspired oxygen concentrations while effectively filtering aerosolized microparticles. *Ann. Emerg. Med.* 2006;48(4):391–399, <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2006.06.039>
45. Harber P., Beck J., Luo J.: Study of respirator effect on nasal-oral flow partition. *Am. J. Ind. Med.* 1997;32(4):408–412, [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0274\(199710\)32:4<408::aid-ajim12>3.0.co;2-7](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0274(199710)32:4<408::aid-ajim12>3.0.co;2-7)
46. Martins De Araujo M.T, Vieira S.B., Vasquez E.C., Fleury B.: Heated humidification or face mask to prevent upper airway dryness during continuous positive airway pressure therapy. *Chest* 2000;117(1):142–147, <https://doi.org/10.1378/chest.117.1.142>
47. Hirata K., Nagasaka T., Sugano Y.: Effect of alternating respiratory pathway on respiratory capacity, and tympanic and forehead skin temperature during exercise. *J. Aerospace Environ. Med.* 1978;15:8–13
48. Roberge RJ, Kim JH, Coca A. Protective facemask impact on human thermoregulation: an overview. *Ann Occup Hyg.* 2012;56(1):102–112, <https://doi.org/10.1093/annhyg/mer069>
49. McCaffrey T.V., McCook R.D., Wurster R.D.: Effect of head skin temperature on tympanic and oral temperature in man. *J. Appl. Physiol.* 1975;39(1):114–118, <https://doi.org/10.1152/jappl.1975.39.1.114>
50. Hanson M.A.: Development of a draft British standard: the assessment of heat strain for workers wearing personal protective equipment. *Ann. Occup. Hyg.* 1999;43(5): 309–319
51. Yip W., Leung L., Lau P., Tong H.K.: The effect of wearing a facemask on body temperature. *Hong Kong J. Emerg. Med.* 2005;12(1):23–27
52. Hayashi C., Tokura H.: The effects of two kinds of mask(with or without exhaust valve) on clothing microclimates inside the mask in participants wearing protective clothing for spraying pesticides. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 2004;77(1):73–78, <https://doi.org/10.1007/s00420-003-0472-3>
53. Svensson S., Olin A.C., Hellgren J.: Increased net water loss by oral compared to nasal expiration in healthy subjects. *Rhinology* 2006;44(1):74–77
54. Epstein D., Korytny A., Isenberg Y., Marcusohn E., Zukermann R., Bishop B. i wsp.: Return to training in the COVID-19 era: The physiological effects of face masks during exercise. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2020, <https://doi.org/10.1111/sms.13832>

55. Fikenzer S., Uhe T., Lavall D., Rudolph U., Falz R., Busse M. i wsp.: Effects of surgical and FFP2/N95 face masks on cardiopulmonary exercise capacity. *Clin. Res. Cardiol.* 2020;6:1–9, <https://doi.org/10.1007/s00392-020-01704-y>
56. Tian Y., Tu X., Zhou X., Yu J., Luo S., Ma L. i wsp.: Wearing a N95 mask increases rescuer's fatigue and decreases chest compression quality in simulated cardiopulmonary resuscitation. *Am. J. Emerg. Med.* 2020;S0735-6757(20):30424-1, <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2020.05.065>
57. Person E., Lemercier C., Royer A., Reychler G.: [Effect of a surgical mask on six minute walking distance]. *Rev. Mal. Respir.* 2018;35:264–268, <https://doi.org/10.1016/j.rmr.2017.01.010>. Po francusku
58. Georgi C., Haase-Fielitz A., Meretz D., Gäsert L., Butter C.: The Impact of Commonly-Worn Face Masks on Physiological Parameters and on Discomfort During Standard Work-Related Physical Effort. *Dtsch Arztebl Int.* 2020;117(40):674–675, <https://doi.org/10.3238/arztebl.2020.0674>
59. Roeckner J.T., Krstić N., Sipe B.H., Običan S.G.: N95 Filtering Facepiece Respirator Use during Pregnancy: A Systematic Review. *Am. J. Perinatol.* 2020;37(10):995–1001, <https://doi.org/10.1055/s-0040-1712475>
60. World Health Organization [Internet]. Organization [cytowany 1 stycznia 2021]. Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19) and considerations during severe shortages. Adres: [https://www.who.int/publications/i/item/rational-use-of-personal-protective-equipment-for-coronavirus-disease-\(covid-19\)-and-considerations-during-severe-shortages](https://www.who.int/publications/i/item/rational-use-of-personal-protective-equipment-for-coronavirus-disease-(covid-19)-and-considerations-during-severe-shortages)
61. Scheid J., Lupien S., Ford G.S., West S.: Physiological and Psychological Impact of Face Mask Usage during the COVID-19 Pandemic. *Int. J. Environ. Res. Pub. Health* 2020;78(18):6655, <https://doi.org/10.3390/ijerph17186655>