

Advertisement



- [Log in](#)

Effects of surgical and FFP2/N95 face masks on cardiopulmonary exercise capacity

**[Download original PDF](#)**

- Original Paper
- Open Access
- [Published: 06 July 2020](#)

# Effects of surgical and FFP2/N95 face masks on cardiopulmonary exercise capacity

- [Sven Fikenzer](#),
- [T. Uhe](#),
- [D. Lavall](#),
- [U. Rudolph](#),
- [R. Falz](#),
- [M. Busse](#),
- [P. Hepp](#) &
- [U. Laufs](#)

[Clinical Research in Cardiology](#) (2020) [Cite this article](#)

- 45k Accesses
- 1 Citations
- 592 Altmetric
- [Metrics details](#)
- A comment to this article is available online at <https://doi.org/10.1007/s00392-020-01725-7>.

## Abstract

### Background

Due to the SARS-CoV2 pandemic, medical face masks are widely recommended for a large number of individuals and long durations. The effect of wearing a surgical and a FFP2/N95 face mask on cardiopulmonary exercise capacity has not been systematically reported.

Vďaka pandémie SARS-CoV2 sa lekárske tvárové masky široko odporúčajú pre veľký počet osôb a na

dlhodobé nosenie. Účinok chirurgického rúška a tvárovej masky FFP2 / N95 na kapacitu kardiopulmonálnej aktivity nebol systematicky posudzovaný.

## Methods

This prospective cross-over study quantitated the effects of wearing no mask (nm), a surgical mask (sm) and a FFP2/N95 mask (ffpm) in 12 healthy males (age  $38.1 \pm 6.2$  years, BMI  $24.5 \pm 2.0$  kg/m<sup>2</sup>). The 36 tests were performed in randomized order. The cardiopulmonary and metabolic responses were monitored by ergo-spirometry and impedance cardiography. Ten domains of comfort/discomfort of wearing a mask were assessed by questionnaire.

V tejto prospektívnej krížovej štúdii sa kvantifikovali účinky bez nosenia masky (nm), s chirurgickou maskou (sm) a s maskou FFP2 / N95 (ffpm) u 12 zdravých mužov (vek  $38,1 \pm 6,2$  rokov, BMI  $24,5 \pm 2,0$  kg / m<sup>2</sup>). ). 36 testov sa uskutočnilo v náhodnom poradí. Kardiopulmonálne a metabolické reakcie boli monitorované ergo-spirometriou a impedančnou kardiografiou. Dotazníkom bolo vyhodnotených desať domén komfortu / nepohodlia pri nosení masky.

## Results

The pulmonary function parameters were significantly lower with mask (forced expiratory volume:  $5.6 \pm 1.0$  vs  $5.3 \pm 0.8$  vs  $6.1 \pm 1.0$  l/s with sm, ffpm and nm, respectively;  $p = 0.001$ ; peak expiratory flow:  $8.7 \pm 1.4$  vs  $7.5 \pm 1.1$  vs  $9.7 \pm 1.6$  l/s;  $p < 0.001$ ). The maximum power was  $269 \pm 45$ ,  $263 \pm 42$  and  $277 \pm 46$  W with sm, ffpm and nm, respectively;  $p = 0.002$ ; the ventilation was significantly reduced with both face masks ( $131 \pm 28$  vs  $114 \pm 23$  vs  $99 \pm 19$  l/m;  $p < 0.001$ ). Peak blood lactate response was reduced with mask. Cardiac output was similar with and without mask. Participants reported consistent and marked discomfort wearing the masks, especially ffpm.

Pľúcne funkčné parametre boli v maske významne nižšie (nútený výdychový objem:  $5,6 \pm 1,0$  vs  $5,3 \pm 0,8$  vs  $6,1 \pm 1,0$  l / ss sm, ffpm a nm,  $p = 0,001$ ; maximálny výdychový prietok:  $8,7 \pm 1,4$  vs  $7,5 \pm 1,1$  vs  $9,7 \pm 1,6$  l / s;  $p < 0,001$ ). Maximálny výkon bol  $269 \pm 45$ ,  $263 \pm 42$  a  $277 \pm 46$  W pri sm, ffpm a nm;  $p = 0,002$ ; ventilácia bola významne znížená u oboch tvárových masiek ( $131 \pm 28$  vs  $114 \pm 23$  oproti  $99 \pm 19$  l / m;  $p < 0,001$ ). Vrchol odpovede na laktát v krvi bol znížený pomocou masky. Srdcový výdaj bol podobný s maskou aj bez nej. Účastníci hlásili dôsledné a výrazné nepohodlie pri používaní masiek, najmä ffpm.

## Conclusion

Ventilation, cardiopulmonary exercise capacity and comfort are reduced by surgical masks and highly impaired by FFP2/N95 face masks in healthy individuals. These data are important for recommendations on wearing face masks at work or during physical exercise.

Ventilácia, kardiopulmonálna cvičebná kapacita a pocit pohodlia sú znížené chirurgickými maskami a u zdravých jedincov vysoko poškodené tvárovými maskami FFP2 / N95. Tieto údaje sú dôležité pre odporúčania týkajúce sa nosenia tvárových masiek pri práci alebo počas fyzického cvičenia.

## Introduction

Following the outbreak of the SARS-CoV2 pandemic, use of face masks (fm) is widely recommended by international, national and local authorities [1,2,3]. The aim of the

regulations is to reduce the respiratory droplet excretion in pre-symptomatic and asymptomatic individuals (source control). The evidence for face masks to reduce respiratory virus infections or to improve clinical outcomes is heterogeneous [4,5,6]. The role of fine-particle aerosols and environmental factors such as temperature and humidity on respiratory virus transmission is a matter of scientific debate [7]. However, as long as no effective treatment or vaccination against SARS-CoV2 is available, health policies need to rely on non-pharmacological interventions such as social distancing, intensified hand hygiene and the wearing of face masks. Current recommendations to wear a face mask during times of contact to other individuals affect millions of persons. Especially health care professionals are required to wear masks for long periods of time. However, the quantitative effects of medical masks on cardiopulmonary exercise capacity have never been systematically reported.

Po vypuknutí pandémie SARS-CoV2 medzinárodné, národné a miestne orgány vo veľkej miere odporúčajú používať tvárové masky (fm) [1,2,3]. Cieľom nariadení je znížiť vylučovanie kvapiek z dýchacích ciest u jedincov so symptomatickým a asymptomatickým ochorením (kontrola zdroja). Dôkazy o tvárových maskách na zníženie infekcií vírusom dýchacích ciest alebo na zlepšenie klinických výsledkov sú heterogénne [4,5,6]. Úloha aerosólov s jemnými časticami a faktorov prostredia, ako sú teplota a vlhkosť pri prenose vírusu dýchacích ciest, je vecou vedeckej diskusie [7]. Pokiaľ však nie je k dispozícii účinná liečba alebo vakcinácia proti SARS-CoV2, zdravotné politiky sa musia spoliehať na nefarmakologické zásahy, ako je sociálne dištancovanie, intenzívnejšia hygiena rúk a nosenie tvárových masiek. Súčasné odporúčania na nosenie masky počas kontaktu s inými jedincami ovplyvňujú milióny ľudí. Obzvlášť zdravotnícki pracovníci sú povinní masky používať dlhšiu dobu. Kvantitatívne účinky lekárskeho masiek na kardiopulmonálnu cvičebnú kapacitu však nikdy neboli systematicky posudzované.

Disposable surgical masks are intended to reduce transmissions from the wearer to the patient, hand-to-face contact and facial contact with large droplets. FFP2/N95 facepiece respirators meet filtration requirements of small airborne particles, fit tightly to the wearer's face and have been suggested to be more efficacious than surgical masks in reducing exposure to viral infections [8]. They are, therefore, widely used by health care professionals for self-protection, especially during the SARS-CoV2 pandemic. However, randomized trials did not find significant differences between FFP2/N95 and surgical masks in preventing influenza infections or respiratory illness [9, 10].

Účelom jednorazových chirurgických masiek je znížiť prenos z nositeľa na pacienta, kontakt rúk s tvárou a kontakt tváre s veľkými kvapkami. Dýchacie masky na tvár FFP2 / N95 vyhovujú požiadavkám na filtráciu malých vzdušných častíc, priliehajú pevne na tvár nositeľa a pri znižovaní vystavenia vírusovým infekciám boli účinnejšie ako chirurgické masky [8]. Zdravotníci ich preto široko používajú na sebaobranu, najmä počas pandémie SARS-CoV2. Randomizované štúdie však nezistili významné rozdiely medzi FFP2 / N95 a chirurgickými maskami pri prevencii chrípkových infekcií alebo respiračných chorôb [9, 10].

Studies on cardiopulmonary capacity have been performed using respirator masks, e.g., full facepiece masks, filtering air-purifying respirators (APR), air-supplied respirators, blower powered air-purifying respirators (PAPR), and self-contained breathing apparatus (SCBA) [11]. These respirators are better known as "gas masks" that are not used by health care professionals and are not suitable to be worn by the majority of the population. Data on cardiopulmonary capacity wearing medical masks are not available. Since surgical and FFP2/N95 masks are the two most widely used types of medical face masks, they were included in this study protocol.

Štúdie týkajúce sa kardiopulmonálnej kapacity sa vykonali s použitím respiračných masiek, napr. celotvárových masiek, filtračných respirátorov čistiacich vzduch (APR), respirátorov s prívodom vzduchu, dýchacích prístrojov s čističom vzduchu (PAPR) a nezávislého dýchacieho prístroja (SCBA) [11]. Tieto respirátory sú lepšie známe ako „plynové masky“, ktoré zdravotníci nepoužívajú a nie sú vhodné na nosenie väčšinou obyvateľstva. Údaje o kardiopulmonálnej kapacite lekárskeho masiek nie sú k dispozícii. Pretože chirurgické a FFP2 / N95 masky sú dva najpoužívanejšie typy lekárskeho tvárových masiek, preto boli zahrnuté do tohto študijného protokolu.

In addition to health care professionals, information on cardiopulmonary effects of face masks in healthy adults could be important for different groups of individuals. Virus particles in respiratory droplets may be transmitted to a greater extent during different forms of physical exertion, many amateur and professional sports or activities such as singing [6, 12]. Face masks have, therefore, been discussed as means to engage in these activities for a wide range of individuals. Therefore, this randomized cross-over study aimed to provide a detailed quantification of the effect of surgical and FFP2/N95 masks on pulmonary and cardiac capacity in healthy adults.

Okrem zdravotníckych pracovníkov môžu byť informácie o kardiopulmonálnych účinkoch tvárových masiek u zdravých dospelých dôležité pre rôzne skupiny jednotlivcov. Vírusové častice v respiračných kvapkách sa môžu prenášať vo väčšej miere pri rôznych formách fyzickej námahy, mnohých amatérskych a profesionálnych športoch alebo činnostiach, ako je spev [6, 12]. Preto sa o prostriedkoch na zapojenie sa do týchto aktivít diskutovalo o tvárových maskách pre celý rad jednotlivcov. Cieľom tejto randomizovanej krížovej štúdie bolo preto poskytnúť podrobnú kvantifikáciu účinku chirurgických masiek a masiek FFP2 / N95 na pľúcnu a srdcovú kapacitu u zdravých dospelých jedincov.

## Materials and methods

### Subjects

The study was conducted at the Department of Cardiology, University of Leipzig. The 12 active and healthy male volunteers were recruited from medical staff. Subjects with cardiac, pulmonary or inflammatory diseases or any other medical contraindications were not included. The characteristics of the participants are shown in Table 1. The study was conducted in accordance with the latest revision of the Declaration of Helsinki and was approved by the Ethical Committee of the Medical Faculty, University of Leipzig (reference number 088/18-ek). Written informed consent was obtained from all the participants.

Štúdia sa uskutočnila na Katedre kardiológie na univerzite v Lipsku. 12 aktívnych a zdravých mužských dobrovoľníkov bolo prijatých z lekárskeho personálu. Do štúdie neboli zahrnutí jedinci so srdcovými, pľúcnymi alebo zápalovými chorobami alebo inými lekárske kontraindikáciami. Charakteristiky účastníkov sú uvedené v tabuľke 1. Štúdia sa uskutočnila v súlade s poslednou revíziou Helsinskej deklarácie a bola schválená Etickou komisiou Lekárskej fakulty Univerzity v Lipsku (referenčné číslo 088/18-ek). Všetci účastníci dostali písomný informovaný súhlas.

### Table 1 Baseline characteristics

[Full size table](#)

### Study design

Medical history was taken using a questionnaire. Subjects received physical examination and vital parameters, body measurements and a resting electrocardiogram (ECG). Each subject performed three incremental exertion tests (IET), one “no mask” (nm), one with surgical mask (sm) and one with FFP2/N95 mask (ffpm). The order of the masks worn was randomly assigned using the GraphPad Quickcalcs online randomization tool [13]. Tests were performed at the same time of day with a minimum of 48 h between two tests. To assess baseline respiratory function, spirometry for each setting (nm, sm, ffpm) was performed. The participants were blinded with regard to their respective test results to avoid influence by an anticipation bias. Statistical analysis was performed by an independent and fully blinded scientist who was not involved in the conduction of the tests.

Zdravotná anamnéza sa urobila pomocou dotazníka. U subjektov sa uskutočnilo fyzikálne vyšetrenie a získali sa vitálne parametre, telesné merania a pokojový elektrokardiogram (EKG). Každý subjekt uskutočnil tri prírastkové námahové testy (IET), jeden „bez masky“ (nm), jeden s chirurgickou maskou (sm) a jeden s maskou FFP2 / N95 (ffpm). Poradie použitia masiek bolo náhodne priradené pomocou online náhodného nástroja GraphPad Quickcalcs [13]. Testy sa uskutočňovali v rovnakom dennom čase s minimom 48 hodín medzi dvoma testami. Na vyhodnotenie základnej respiračnej funkcie bola vykonaná spirometria pre každé nastavenie (nm, sm, ffpm). Účastníci boli zaslepení, pokiaľ ide o ich príslušné výsledky testov, aby sa predišlo ovplyvneniu predpokladanou predpojatostou. Štatistickú analýzu vykonal nezávislý a úplne zaslepený vedec, ktorý sa nezúčastnil na vykonávaní testov.

## **Incremental exertion test (IET)**

IET were performed on a semi-recumbent ergometer (GE eBike, GE Healthcare GmbH, Solingen, Germany, Germany) at a constant speed of 60–70 revolutions per minute (rpm). The test began at a workload of 50 W with an increase of 50 W within 3 min (as a ramp) until voluntary exhaustion occurred. Each subject continued for an additional 10-min recovery period at a workload of 25 W.

IET sa uskutočňovali na polopriečinnom ergometri (GE eBike, GE Healthcare GmbH, Solingen, Nemecko) pri konštantnej rýchlosti 60 - 70 otáčok za minútu (ot./min.). Test sa začal s pracovným zaťažením 50 W so zvyšovaním o 50 W po 3 minútach (ako rampa), kým nenastalo dobrovoľné vyčerpanie. Každý subjekt pokračoval ďalších 10 minút na zotavenie pri pracovnom zaťažení 25 W.

## **Masks**

We used typical and widely used disposable FFP2/N95 protective face masks (Shaoguan Taijie Protection Technology Co., Ltd., Gao Jie, China) and surgical masks (Suavel<sup>®</sup> Protec Plus, Meditrade, Kiefersfelden, Germany), both with earloops.

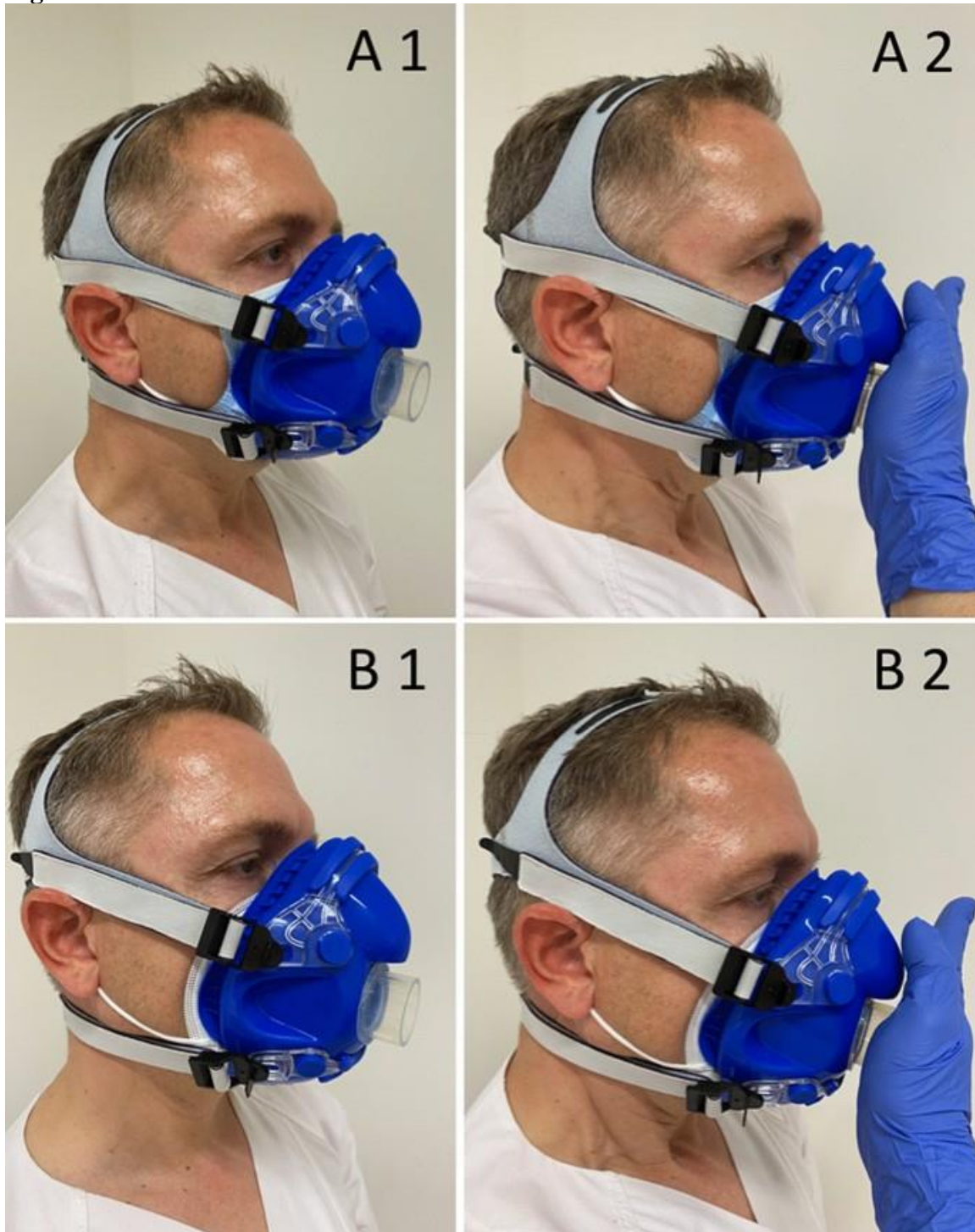
The spirometry mask was placed over the fm and fixed with head straps in a leak-proof manner (see Fig. 1A1, B1). After fitting the spirometry mask, subjects performed (a) inspiration and (b) expiration with maximal force. During both maneuvers, the valve of the mask was closed leading to abrupt stop of the air flow (see Fig. 1A2, B2). The fitting was carefully checked for the absence of any acoustic, sensory or visual indication of leakage (e.g., lifting of the mask, whistling or lateral airflow) by the investigators and the test person. The correct fitting and leak tightness were confirmed before each test was started.

Použili sme typické a široko používané jednorazové ochranné masky na tvár FFP2 / N95 (Shaoguan Taijie Protection Technology Co., Ltd., Gao Jie, Čína) a chirurgické masky (Suavel<sup>®</sup> Protec Plus,

Meditrade, Kiefersfelden, Nemecko), oboje so sponkami na uši.

Spirometrická maska bola umiestnená nad fm a pripevnená hlavovými remienkami nepriepustným spôsobom (pozri obr. 1A1, B1). Po nasadení spirometrickej masky subjekty vykonali (a) nádych a (b) výdych s maximálnou silou. Počas oboch manévrov bol ventil masky uzavretý, čo viedlo k náhlemu zastaveniu toku vzduchu (pozri obr. 1A2, B2). Výbava bola skúšajúcou osobou a testovanou osobou starostlivo skontrolovaná na prítomnosť akustického, sensorického alebo vizuálneho náznaku presakovania (napr. zdvíhanie masky, pískanie alebo bočné prúdenie vzduchu). Správna montáž a tesnosť boli potvrdené pred začiatkom každého testu.

**Fig. 1**



Fitting of mask and leakage test. Fitting of spirometry mask with sm (A1) and ffpn (B1) and the respective leakage tests with sm (A2) and ffpn (B2)

Montáž masky a skúška tesnosti. Montáž spirometrickej masky sm (A1) a ffpn (B1) a príslušné skúšky tesnosti pomocou sm (A2) a ffpn (B2)

[Full size image](#)

## Measurements

Cardiac output (CO), stroke volume (SV) (measured by impedance cardiography; Physioflow, Manatec Biomedical, Macheren, France), heart rate (HR) (GE-Cardiosoft, GE Healthcare GmbH, Solingen, Germany), maximum oxygen consumption ( $VO_{2max}$ ) and minute ventilation (VE) were monitored continuously at rest, during IET and during recovery. Lung function and spirometry data were collected through a digital spirometer (Vyntus™ CPX, Vyair Germany, Hoechberg, Germany). For each modality (nm, sm, ffpn), data of three expiratory maneuvers with 1-min intervals were collected using the best values obtained for maximum forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in 1st second (FEV1), peak expiratory flow (PEF) and Tiffeneau index (TIFF). The arterio-venous oxygen difference was computed using Fick's principle with  $avDO_2 = VO_2/CO$ . Cardiac work (CW) was measured in joules (J) and calculated according to the formula  $CW = SV \text{ (in m}^3) \times SBP \text{ (in Pa)}$ . Capillary blood samples (55  $\mu$ l) were taken from the earlobe at baseline and immediately after cessation of maximum load and analyzed (ABL90 FLEX blood gas analyzer, Radiometer GmbH, Krefeld, Germany). Blood pressures (BP) was observed at rest, every 3 min during the IET and after the first 5 min of recovery period.

Srdcový výdaj (CO), systolický vývrhový objem (SV) (merané impedančnou kardiografiou; Physioflow, Manatec Biomedical, Macheren, Francúzsko), srdcová frekvencia (HR) (GE-Cardiosoft, GE Healthcare GmbH, Solingen, Nemecko), maximálna spotreba kyslíka ( $VO_{2max}$ ) a minútová ventilácia (VE) sa monitorovali nepretržite v pokoji, počas IET a počas regenerácie. Údaje o pľúcnych funkciách a spirometriách sa zbierali pomocou digitálneho spirometra (Vyntus™ CPX, Vyair Germany, Hoechberg, Nemecko). Pre každú modalitu (nm, sm, ffpn) sa zhromaždili údaje o troch exspiračných manévroch v intervaloch 1 min s použitím najlepších hodnôt získaných pre maximálnu úsilnú vitálnu kapacitu (FVC), úsilný výdych za 1 sekundu (FEV1), vrcholový výdychový prietok (PEF) a Tiffeneauov index (TIFF). Arterio-venózný kyslíkový rozdiel sa vypočítal pomocou Fickovho princípu s  $avDO_2 = VO_2 / CO$ . Práca na srdci (CW) bola meraná v jouloch (J) a vypočítaná podľa vzorca  $CW = SV \text{ (vm}^3) \times SBP \text{ (v Pa)}$ . Vzorky kapilárnej krvi (55  $\mu$ l) sa odobrali z ušného lalôčka na začiatku a bezprostredne po ukončení maximálneho zaťaženia a analyzovali sa (analyzátor ABL90 FLEX krvného plynu, Radiometer GmbH, Krefeld, Nemecko). Krvný tlak (BP) sa pozoroval v pokoji, každé 3 minúty počas IET a po prvých 5 minútach zotavovacieho obdobia.

## Quantification of comfort/discomfort

We used a published questionnaire published by [14] to quantify the following ten domains of comfort/discomfort of wearing a mask: humidity, heat, breathing resistance, itchiness, tightness, saltiness, feeling unfit, odor, fatigue, and overall discomfort. The participants were asked 10 min after each IET how they perceived the comfort in the test.

Na kvantifikáciu týchto desiatich oblastí komfortu / nepohodlia pri nosení masky sme použili uverejnený dotazník [14]: vlhkosť, teplo, respiračná odolnosť, svrbenie, tesnosť, slanosť, nepohodlie,

zápach, únava a celkové nepohodlie. Účastníci boli požiadaní 10 minút po každom IET, zaznamenať ako vnímali pohodlie pri teste.

## Statistical analysis

All values are expressed as means and standard deviations unless otherwise stated, and the significance level was defined as  $p < 0.05$ . Data were analyzed using Microsoft Office Excel® 2010 for Windows (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) and GraphPad Prism 8 (GraphPad Software Inc., California, USA). For distribution analysis, the D'Agostino–Pearson normality test was used. For normal distribution, comparisons were made using one-way repeated measures ANOVA with Turkey's post hoc test for multiple comparisons. Otherwise, the Friedman non-parametric test and Dunn's post hoc test were used. The study was powered to detect a difference of 10% in  $VO_{2max}/kg$  between nm and ffp.

Všetky hodnoty sú vyjadrené ako stredné hodnoty a štandardné odchýlky, pokiaľ nie je uvedené inak, a hladina významnosti bola definovaná ako  $p < 0,05$ . Dáta boli analyzované pomocou Microsoft Office Excel® 2010 pre Windows (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA) a GraphPad Prism 8 (GraphPad Software Inc., Kalifornia, USA). Na analýzu distribúcie sa použil D'Agostino – Pearsonov test normality. Pre normálnu distribúciu sa porovnania robili jednosmernými opakovanými meraniami ANOVA s tureckým post hoc testom na viacnásobné porovnania. Inak sa použil Friedmanov neparametrický test a Dunnov post hoc test. Štúdia bola vykonaná na detekciu rozdielu 10%  $VO_{2max} / kg$  medzi nm a ffp.

## Results

### Pulmonary function

The results of the pulmonary function tests are shown in Table 2. Both sm and ffp significantly reduce the dynamic lung parameters. The average reduction of FVC was  $-8.8 \pm 6.0\%$  with sm and  $-12.6 \pm 6.5\%$  with ffp. FEV1 was  $-7.6 \pm 5.0\%$  lower with sm and  $-13.0 \pm 9.0\%$  with ffp compared to no mask. The peak flow measurement showed that both sm and ffp significantly reduced the PEF ( $-9.7 \pm 11.2\%$  and  $-21.3 \pm 12.4\%$ , respectively).

Výsledky pľúcnych funkčných testov sú uvedené v tabuľke 2. Sm a ffp významne znižujú dynamické pľúcne parametre. Priemerné zníženie FVC bolo  $-8,8 \pm 6,0\%$  pri sm a  $-12,6 \pm 6,5\%$  pri ffp. FEV1 bol o  $-7,6 \pm 5,0\%$  nižší s sm a  $-13,0 \pm 9,0\%$  s ffp v porovnaní so stavom bez masky. Meranie maximálneho prietoku ukázalo, že sm a ffp významne znížili PEF ( $-9,7 \pm 11,2\%$ , respektíve  $-21,3 \pm 12,4\%$ ).

### Table 2 Spirometry results

[Full size table](#)

### Incremental exertion test

The results of IET under different conditions are depicted in Table 3. None of the masks had impact on the examined parameters under resting condition. The average duration of IET compared to the test without mask was slightly decreased by  $-29 \pm 40$  s with sm ( $p = 0.07$ ) and significantly decreased by  $-52 \pm 45$  s with ffp ( $p = 0.005$ ). Under maximum load, there was a large reduction of the performance measures  $P_{max}$  and  $VO_{2max}$ , especially with ffp (Fig. 2). Furthermore, these parameters were significantly reduced in ffp compared to sm.

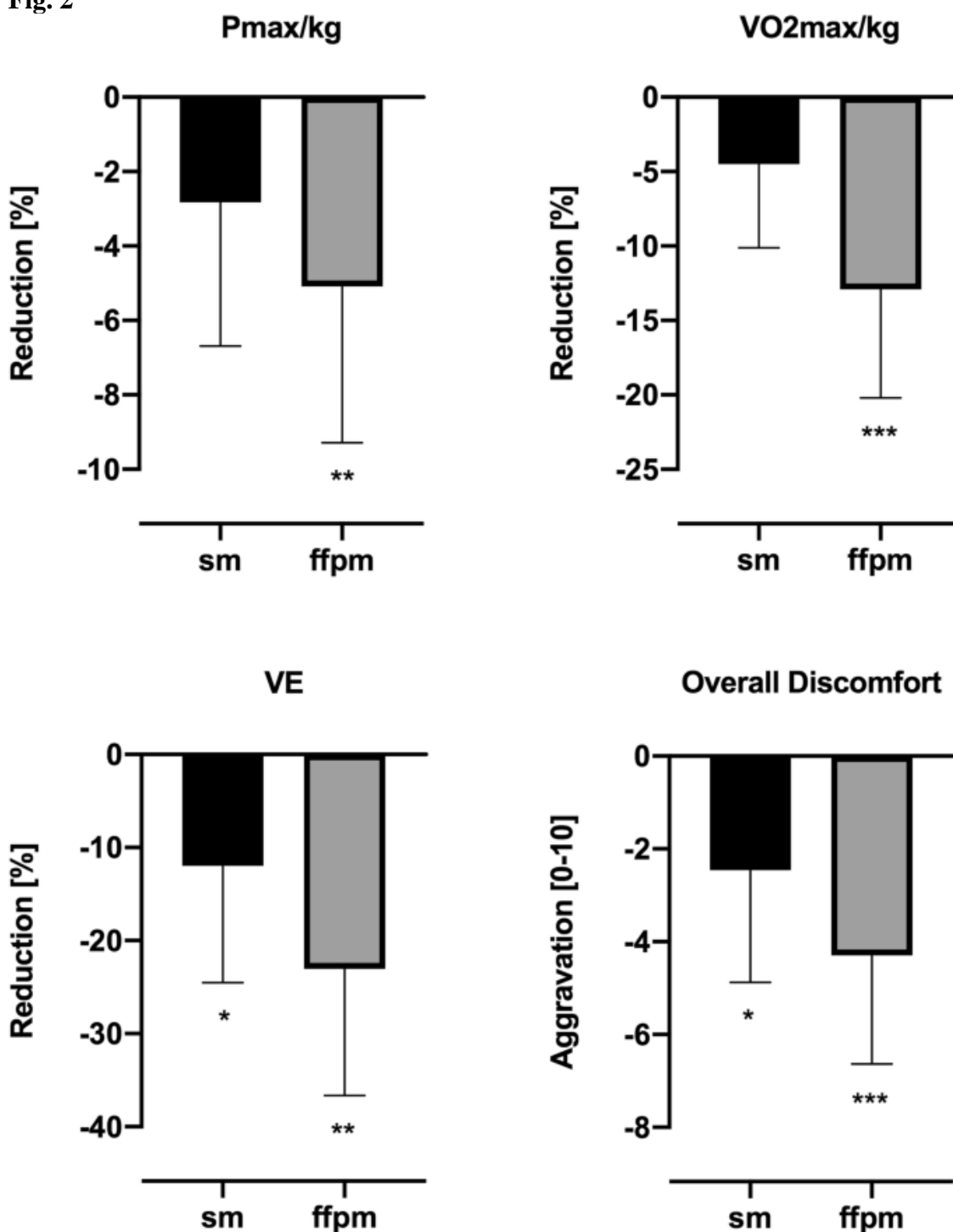


Výsledky IET za rôznych podmienok sú uvedené v tabuľke 3. Žiadna z masiek nemala vplyv na skúmané parametre v kľudovom stave. Priemerné trvanie IET v porovnaní s testom bez masky sa mierne znížilo o  $-29 \pm 40$  s pri sm ( $p = 0,07$ ) a významne znížilo o  $-52 \pm 45$  s pri ffp ( $p = 0,005$ ). Pri maximálnom zaťažení došlo k veľkému zníženiu výkonnostných mier Pmax a VO2max, najmä pri ffp (obr. 2). Ďalej boli tieto parametre významne znížené v ffp v porovnaní s sm.

**Table 3 Results of the incremental exercise test**

[Full size table](#)

**Fig. 2**



Effects of wearing a surgical mask (sm) and a FFP2/N95 mask (ffpm) compared to no mask on maximal power ( $P_{\max}$ ), maximal oxygen uptake ( $VO_{2\max}$ ), ventilation (VE) and overall discomfort. \* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$

Účinky chirurgickej masky (sm) a masky FFP2 / N95 (ffpm) v porovnaní s maskou na maximálny výkon ( $P_{\max}$ ), maximálny príjem kyslíka ( $VO_{2\max}$ ), ventiláciu (VE) a celkové nepohodlie. \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

### [Full size image](#)

Assessment of the hemodynamic parameters (Table 3) showed that ffpm decreased  $avDO_2$  by  $16.7 \pm 11.2\%$  compared to nm. Stroke volume and cardiac output and cardiac work did not differ significantly (nm:  $4.3 \pm 0.8$  J, sm:  $4.7 \pm 1.4$  J, ffpm:  $4.6 \pm 0.9$  J;  $p = 0.29$ ).

The masks showed a marked effect on pulmonary parameters: VE for both sm and ffpm was significantly reduced by  $-12.0 \pm 12.6\%$  and  $-23.1 \pm 13.6\%$ , respectively, compared to nm (see Table 3; Fig. 1). Compared to nm, tests with ffpm showed a significant reduction in breathing frequency with an additional decrease in tidal volume ( $-9.9 \pm 11.3\%$  and  $-14.4 \pm 13.0\%$ , respectively). At the same time, a longer inhalation time was observed (sm:  $12 \pm 15\%$ ,  $p = 0.043$ ; ffpm:  $19 \pm 16\%$ ,  $p = 0.005$ ). There were no differences in exhalation time.

Measurements of the metabolic parameters pH,  $PCO_2$ ,  $PO_2$  and lactate and the heart rate recovery did not differ significantly between the three tests (Table 3).

Vyhodnotenie hemodynamických parametrov (tabuľka 3) ukázalo, že ffpm znížil  $avDO_2$  o  $16,7 \pm 11,2\%$  v porovnaní s nm. Systolický vývrhový objem, srdcový výdaj a srdcová práca sa významne nelíšili (nm:  $4,3 \pm 0,8$  J, sm:  $4,7 \pm 1,4$  J, ffpm:  $4,6 \pm 0,9$  J;  $p = 0,29$ ).

Masky vykazovali výrazný účinok na pľúcne parametre: VE pre sm a ffpm sa v porovnaní s nm významne znížil o  $-12,0 \pm 12,6\%$  a  $-23,1 \pm 13,6\%$  (pozri tabuľku 3; obr. 1). V porovnaní s nm testy s ffpm preukázali významné zníženie dýchacej frekvencie s dodatočným poklesom prílivového objemu ( $-9,9 \pm 11,3\%$  a  $-14,4 \pm 13,0\%$ ). Súčasne sa pozoroval dlhší vdychovací čas (sm:  $12 \pm 15\%$ ,  $p = 0,043$ ; ffpm:  $19 \pm 16\%$ ,  $p = 0,005$ ). V dobe trvania výdychu neboli žiadne rozdiely.

Merania metabolických parametrov pH,  $PCO_2$ ,  $PO_2$  a laktátu a obnovenie srdcovej frekvencie sa medzi týmito tromi testami významne nelíšili (tabuľka 3).

## Perceived discomfort

Subjective ratings for different sensations and overall discomfort for sm and ffpm compared to nm are depicted in Table 4. In general, the negative ratings for all items of discomfort increased consistently and significantly from sm to ffpm. There were several-fold negative reports for the ffpm compared to nm and sm for breathing resistance. The relative aggravation in overall discomfort compared to the standard procedure for spiroergometric tests is shown in Fig. 2.

Subjektívne hodnotenia rôznych pocitov a celkové nepohodlie pre sm a ffpm v porovnaní s nm sú uvedené v tabuľke 4. Všeobecne sa záporné hodnotenie pre všetky položky nepohodlia zvyšuje a významne zvyšuje od sm po ffpm. V prípade ffpm došlo k niekoľkonásobným negatívnym správam v porovnaní s nm a sm pre dýchací odpor. Relatívne zhoršenie celkového nepohodlia v porovnaní so štandardným postupom pre spiroergometrické testy je znázornené na obr.2

## Table 4 Perceived discomfort

[Full size table](#)

## Discussion

This first randomized cross-over study assessing the effects of surgical masks and FFP2/N95 masks on cardiopulmonary exercise capacity yields clear results. Both masks have a marked negative impact on exercise parameters such as maximum power output ( $P_{\max}$ ) and the maximum oxygen uptake ( $VO_{2\max}/\text{kg}$ ). FFP2/N95 masks show consistently more pronounced negative effects compared to surgical masks. Both masks significantly reduce pulmonary parameters at rest (FVC, FEV1, PEF) and at maximum load (VE, BF, TV). Furthermore, wearing the masks was perceived as very uncomfortable with a marked effect on subjective breathing resistance with the FFP2/N95 mask.

Táto prvá randomizovaná krížová štúdia hodnotiaca účinky chirurgických masiek a masiek FFP2 / N95 na kapacitu kardiopulmonálnej aktivity vedie k jasným výsledkom. Obidve masky majú značný negatívny vplyv na výkonové parametre, ako je maximálny výkon ( $P_{\max}$ ) a maximálny príjem kyslíka ( $VO_{2\max} / \text{kg}$ ). Masky FFP2 / N95 vykazujú trvalo výraznejšie negatívne účinky v porovnaní s chirurgickými maskami. Obe masky výrazne znižujú pľúcne parametre v pokoji (FVC, FEV1, PEF) a pri maximálnom zaťažení (VE, BF, TV). Ďalej bolo nosenie masiek vnímané ako veľmi nepríjemné s výrazným účinkom na subjektívny dýchací odpor pomocou masky FFP2 / N95.

### Pulmonary function

Spirometry showed reduced FVC, FEV1 and PEF with the surgical mask and even greater impairments with the FFP2/N95 mask. Wearing the FFP2/N95 mask resulted in a reduction of  $VO_{2\max}$  by 13% and of ventilation by 23%. These changes are consistent with an increased airway resistance [15]. Studies testing increased upper airway obstruction induced by added resistance at the mouth report similar effects on the lung functions parameter with increased breathing resistance [16]. The reduction in ventilation resulted from a lower breathing frequency with corresponding changes of the inhaling and exhaling time and a reduced tidal volume. This is in agreement with the effects of respiratory protective devices or additional external breathing resistance [16, 17]. The increased breathing resistance, which is likely higher during stress, leads to an elevated breathing work and a limitation of the ventilation. The data of this study are obtained in healthy young volunteers, the impairment is likely to be significantly greater, e.g., in patients with obstructive pulmonary diseases [18]. From our data, we conclude that wearing a medical face mask has a significant impact on pulmonary parameters both at rest and during maximal exercise in healthy adults.

Spirometria preukázala zníženie FVC, FEV1 a PEF s chirurgickou maskou a ešte väčšie postihnutie s maskou FFP2 / N95. Nosenie masky FFP2 / N95 viedlo k zníženiu  $VO_{2\max}$  o 13% a ventilácie o 23%. Tieto zmeny zodpovedajú zvýšenému odporu dýchacích ciest [15]. Štúdie testujúce zvýšenú obštrukciu horných dýchacích ciest indukovanú zvýšeným odporom v ústach vykazujú podobné účinky na parameter pľúcnych funkcií so zvýšeným dýchacím odporom [16]. Zníženie ventilácie bolo výsledkom nižšej frekvencie dýchania so zodpovedajúcimi zmenami vdychovania a výdychu a zníženého prílivového objemu. To je v súlade s účinkami ochranných dýchacích prístrojov alebo dodatočného vonkajšieho dýchacieho odporu [16, 17]. Zvýšený dýchací odpor, ktorý je pravdepodobne vyšší počas stresu, vedie k zvýšenému dýchaniu a obmedzeniu ventilácie. Údaje z tejto štúdie sa získavajú u zdravých mladých dobrovoľníkov, pričom zhoršenie je pravdepodobne výrazne väčšie, napríklad u pacientov s obštrukčnou chorobou pľúc [18]. Z našich údajov sme dospeli

k záveru, že nosenie lekárskej tvárovej masky má významný vplyv na pľúcne parametre v pokoji aj počas maximálneho cvičenia u zdravých dospelých.

## Cardiac function

Increased breathing resistance in ffp<sub>m</sub> and sm requires more work of the respiratory muscles compared to nm leading to higher oxygen consumption. Additionally, a significant proportion of cardiac output is directed via different mechanisms, e.g., sympathetically induced vasoconstriction, to the respiratory musculature [19]. Furthermore, the increased breathing resistance may augment and prolong inspiratory activity leading to more negative intrathoracic pressure (ITP) for longer durations. This assumption is supported by the findings on inspiration times which were higher while wearing a fm. Prolonged and more negative ITP increases the cardiac preload and may lead to higher SV at the one hand which is consistent with our results showing a statistical trend towards higher SV while wearing ffp<sub>m</sub> or sm [20, 21]. In addition, cardiac afterload increases because of an increased transmural left-ventricular pressure resulting in enhanced myocardial oxygen consumption [22]. In these healthy volunteers, functional cardiac parameters do not differ significantly at baseline, at maximal load and during recovery. However, there is a non-significant trend towards a higher cardiac work (Joule) compared to the test without mask. This is of relevance since significantly less watts (-5%) was achieved in the tests with masks. The relation of cardiac power to the total power is approximately 10% lower with ffp<sub>m</sub>. These data suggest a myocardial compensation for the pulmonary limitation in the healthy volunteers. In patients with impaired myocardial function, this compensation may not be possible.

Zvýšený dýchací odpor pri ffp<sub>m</sub> a sm vyžaduje viac práce dýchacích svalov v porovnaní s nm, čo vedie k vyššej spotrebe kyslíka. Okrem toho je významný podiel srdcového výdaju nasmerovaný rôznymi mechanizmami, napr. sympateticky vyvolanou vazokonstrikciou, na respiračné svalstvo [19]. Ďalej môže zvýšený dýchací odpor zosilniť a predĺžiť inspiračnú aktivitu, čo vedie k dlhšiemu trvaniu negatívnejšieho intratorakálneho tlaku (ITP). Tento predpoklad potvrdzujú zistenia o trvaní nádychu, ktorý bol dlhší pri nosení fm. Predĺžené a negatívnejšie ITP zvyšuje srdcové predpätie a na jednej strane môže viesť k vyššiemu SV, čo je v súlade s našimi výsledkami, ktoré ukazujú štatistický trend smerom k vyššiemu SV pri nosení ffp<sub>m</sub> alebo sm [20, 21]. Okrem toho sa srdcové následné zaťaženie zvyšuje kvôli zvýšenému transmuralnému tlaku v ľavej komore, čo vedie k zvýšenej spotrebe kyslíka v myokarde [22]. U týchto zdravých dobrovoľníkov sa funkčné srdcové parametre významne nelíšia na začiatku, pri maximálnom zaťažení a počas zotavovania. V porovnaní s testom bez masky však existuje nevýznamný trend k vyššej srdcovej práci (Joule). Toto je relevantné, pretože pri skúškach s maskami sa dosiahlo výrazne menej wattov (- 5%). Vzťah srdcovej sily k celkovému výkonu je približne o 10% nižší pri ffp<sub>m</sub>. Tieto údaje naznačujú myokardiálnu kompenzáciu pľúcneho obmedzenia u zdravých dobrovoľníkov. **U pacientov s poruchou funkcie myokardu nemusí byť táto kompenzácia možná.**

## Performance

The measurements show that surgical masks, and to a greater extent FFP2/N95 masks, reduce the maximum power.  $P_{\max}$  (Watt) depends on energy consumption and the maximum oxygen uptake ( $VO_{2\max}$ ). The effect of the masks was most pronounced on  $VO_{2\max}$ . Since the cardiac output was similar between the conditions, the reduction of  $P_{\max}$  was primarily driven by the observed reduction of the arterio-venous oxygen content ( $avDO_2$ ). Therefore, the primary effect of the face masks on physical performance in healthy individuals is driven by the reduction of pulmonary function. In addition, the auxiliary breathing muscles have been described to induce an additional afferent drive which can contribute to an increase of the fatigue effect [23,24,25].

The performance of several different populations may be significantly affected by face masks. For athletes the use of fm will reduce physical performance. Less pronounced but mechanistically similar effects have been observed for mouthguards [26,27,28]. The increased breathing resistance is especially problematic for patients with chronic obstructive pulmonary diseases. Patients with diffusion disorders have reduced capacity to compensate due to the reduced tidal volume. Another example of a population at risk is patients with heart failure. The observed mechanisms may lead to more severe symptoms in individuals with impaired capacity for myocardial compensation.

Merania ukazujú, že chirurgické masky a vo väčšej miere masky FFP2 / N95 znižujú maximálny výkon.  $P_{\max}$  (Watt) závisí od spotreby energie a maximálneho príjmu kyslíka ( $VO_{2\max}$ ). Účinok masiek bol najvýraznejší na  $VO_{2\max}$ . Pretože srdcová produkcia bola medzi podmienkami podobná, zníženie  $P_{\max}$  bolo primárne spôsobené pozorovaným znížením obsahu kyslíka v arteriovenóznom prostredí ( $avDO_2$ ). Primárny účinok tvárových masiek na fyzickú výkonnosť u zdravých jedincov je preto spôsobený znížením pľúcnych funkcií. Ďalej bolo zaznamenané zapojenie pomocných dýchacích svalov, čo môže prispieť k zvýšeniu únavového účinku [23,24,25].

Tvárové masky môžu výrazne ovplyvniť výkonnosť niekoľkých rôznych populácií. Pre športovcov použitie fm zníži fyzickú výkonnosť. Menej výrazné, ale mechanicky podobné účinky sa pozorovali u chráničov úst [26,27,28]. Zvýšená respiračná rezistencia je obzvlášť problematická u pacientov s chronickou obštrukčnou chorobou pľúc (CHOCHP). Pacienti s poruchami difúzie majú zníženú kapacitu kompenzácie v dôsledku zníženého prílivového objemu. Ďalším príkladom ohrozenej populácie sú pacienti so srdcovým zlyhaním. Pozorované mechanizmy môžu viesť k závažnejším symptómom u osôb so zníženou schopnosťou kompenzácie myokardu.

## Discomfort

Health care professionals and others are faced with significant psychological distress during viral outbreaks [29]. Measures to maintain the quality of life both during emergency situations and long term care are increasingly important. Adequate personal protective equipment and adequate rest are considered keys to reduce the risk of adverse psychological outcomes [29]. Our sample primarily consisted of physicians working at a university hospital who are very familiar with medical masks and have a positive attitude towards personal protection. Our data show that FM leads to severe subjective discomfort during exercise. FFP2/N95 masks are perceived as more uncomfortable than sm. In particular, breathing resistance, heat, tightness and overall discomfort are the items with the greatest influence on subjective perception. This finding is in agreement with the literature [14, 30]. Wearing of fm is perceived as subjectively

disturbing and is accompanied by an increased perception of exertion. It is likely that the masks negatively impact on the dynamics of perception especially at the limit of exercise tolerance [31, 32]. In addition to the severe impact on ventilation, the data suggest the associated discomfort as a second important reason for the observed impairment of physical performance.

Zdravotníckí pracovníci a iné osoby čelia počas vypuknutia vírusovej nákazy veľkým psychologickým problémom [29]. Opatrenia na udržanie kvality života v núdzových situáciách aj pri dlhodobej starostlivosti sú čoraz dôležitejšie. Primerané osobné ochranné vybavenie a primeraný odpočinok sa považujú za kľúčové na zníženie rizika nepriaznivých psychologických následkov [29]. Naša vzorka pozostávala predovšetkým z lekárov pracujúcich vo fakultnej nemocnici, ktorí sú veľmi oboznámení s lekáorskými maskami a majú pozitívny prístup k osobnej ochrane. Naše údaje ukazujú, že FM vedie k závažným subjektívnym nepohodliam počas cvičenia. Masky FFP2 / N95 sa vnímajú ako nepríjemnejšie ako sm. Najmä dýchací odpor, teplo, tesnosť a celkové nepohodlie sú položky, ktoré majú najväčší vplyv na subjektívne vnímanie. Toto zistenie je v súlade s literatúrou [14, 30]. Nosenie fm je vnímané ako subjektívne rušivé a je sprevádzané zvýšeným vnímaním námahy. Je pravdepodobné, že masky majú negatívny vplyv na dynamiku vnímania, najmä na hranici tolerancie záťaže [31, 32]. Okrem závažného vplyvu na parametre ventilácie údaje naznačujú pridružené nepohodlie ako druhý dôležitý dôvod pozorovaného zhoršenia fyzickej výkonnosti.

## Limitations of the study

The sample consisted of relatively young, healthy, male participants. The data cannot be extrapolated to other populations but set the stage to assess the effects of the face masks in elderly and in patients with pulmonary and with cardiac diseases. This study is the largest cross-over study to date comparing acute cardiopulmonary effects with and without common face masks, however, independent repetition and larger sample size is always welcome. The external validity concerning surgical masks (relevant leakage to eyes and ears in daily life) may be reduced because of the laboratory conditions where the sm was completely sealed by the spirometry mask. Cardiac parameters obtained by impedance cardiography may be overestimated using absolute values [33]. However, thoracic impedance cardiography is well established for the quantification of intra-individual changes in SV and CO [34,35,36].

Vzorka pozostávala z relatívne mladých, zdravých mužov. Údaje nie je možné extrapolovať na iné populácie, ale môžu sa užít na vyhodnotenie účinkov tvárových masiek u starších pacientov a pacientov s pľúcnymi a srdcovými chorobami. Táto štúdia je doteraz najväčšou krížovou štúdiou porovnávajúcou akútne kardiopulmonálne účinky v prípadoch bez použitia tvárových masiek s použitím bežných masiek na tvár, nezávislé opakovanie a väčšia veľkosť vzorky sú však vždy vítané. Vonkajšia platnosť chirurgických masiek (relevantný únik do očí a uší v každodennom živote) sa môže znížiť z dôvodu laboratórnych podmienok, keď bol sm úplne uzavretý spirometrickou maskou. Srdcové parametre získané impedančnou kardiografiou sa môžu nadhodnotiť absolútnymi hodnotami [33]. Kardiografia hrudnej impedancie je však dobre zavedená na kvantifikáciu intraindividuálnych zmien v SV a CO [34,35,36].

## Conclusion

Medical face masks have a marked negative impact on cardiopulmonary capacity that significantly impairs strenuous physical and occupational activities. In addition, medical masks significantly impair the quality of life of their wearer. These effects have to be considered versus the potential protective effects of face masks on viral transmissions. The

quantitative data of this study may, therefore, inform medical recommendations and policy makers.

Lekárske masky na tvár majú výrazný negatívny vplyv na kardiopulmonálnu kapacitu, ktorá výrazne zhoršuje fyzicky namáhavé pracovné činnosti. Okrem toho lekárske masky výrazne zhoršujú kvalitu života ich nositeľa. Tieto účinky sa musia brať do úvahy proti potenciálnym ochranným účinkom tvárových masiek proti prenosu vírusovej infekcie. Kvantitatívne údaje tejto štúdie preto by mali zohľadňovať lekárske odporúčania a mali by o nich byť informovaní tvorcovia politik.

## References

1. 1.

CDC (2020) Recommendation regarding the use of cloth face coverings, especially in areas of significant community-based transmission

2. 2.

ECDC (2020) Using face masks in the community—reducing COVID-19 transmission from potentially asymptomatic or pre-symptomatic people through the use of face masks

3. 3.

RKI (2020) Robert Koch-Institut: Mund-Nasen-Bedeckung im öffentlichen Raum als weitere Komponente zur Reduktion der Übertragungen von COVID-19. Strategie-Ergänzung zu empfohlenen Infektionsschutzmaßnahmen und Zielen (3. Update). Epid Bull 19:3–5. <https://doi.org/10.25646/673>

[Article](#) [Google Scholar](#)

4. 4.

WHO (2020) Advice on the use of masks in the context of COVID-19

5. 5.

Xiao J, Shiu EYC, Gao H, Wong JY, Fong MW, Ryu S, Cowling BJ (2020) Nonpharmaceutical measures for pandemic influenza in nonhealthcare settings—personal protective and environmental measures. Emerg Infect Dis 26(5):967–975. <https://doi.org/10.3201/eid2605.190994>

[CAS](#) [Article](#) [PubMed](#) [PubMed Central](#) [Google Scholar](#)

6. 6.

Leung NHL, Chu DKW, Shiu EYC, Chan K-H, McDevitt JJ, Hau BJP, Yen H-L, Li Y, Ip DKM, Peiris JSM, Seto W-H, Leung GM, Milton DK, Cowling BJ (2020) Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks. Nat Med 26(5):676–680. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0843-2>

[CAS](#) [Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

7. 7.

Shiu EYC, Leung NHL, Cowling BJ (2019) Controversy around airborne versus droplet transmission of respiratory viruses: implication for infection prevention. *Curr Opin Infect Dis* 32(4):372–379. <https://doi.org/10.1097/qco.0000000000000563>

[Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

8. 8.

CDC (2019) Determination of particulate filter efficiency level of N95 series filters against solid particulates for non-powered, air-purifying respirators standard

9. 9.

Loeb M, Dafoe N, Mahony J, John M, Sarabia A, Glavin V, Webby R, Smieja M, Earn DJ, Chong S, Webb A, Walter SD (2009) Surgical mask vs N95 respirator for preventing influenza among health care workers: a randomized trial. *JAMA* 302(17):1865–1871. <https://doi.org/10.1001/jama.2009.1466>

[CAS](#) [Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

10. 10.

Radonovich LJ Jr, Simberkoff MS, Bessesen MT, Brown AC, Cummings DAT, Gaydos CA, Los JG, Krosche AE, Gibert CL, Gorse GJ, Nyquist AC, Reich NG, Rodriguez-Barradas MC, Price CS, Perl TM (2019) N95 respirators vs medical masks for preventing influenza among health care personnel: a randomized clinical trial. *JAMA* 322(9):824–833. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.11645>

[Article](#) [PubMed](#) [PubMed Central](#) [Google Scholar](#)

11. 11.

Johnson AT (2016) Respirator masks protect health but impact performance: a review. *J Biol Eng* 10:4. <https://doi.org/10.1186/s13036-016-0025-4>

[Article](#) [PubMed](#) [PubMed Central](#) [Google Scholar](#)

12. 12.

Blocken BMF van Druenen T, Marchal T (2020) Towards aerodynamically equivalent COVID-19 1.5 m social distancing for walking and running

13. 13.

Quickcalcs G (2018) Random numbers



14. 14.

Li Y, Tokura H, Guo YP, Wong ASW, Wong T, Chung J, Newton E (2005) Effects of wearing N95 and surgical facemasks on heart rate, thermal stress and subjective sensations. *Int Arch Occup Environ Health* 78(6):501–509.

<https://doi.org/10.1007/s00420-004-0584-4>

[CAS](#) [Article](#) [PubMed](#) [PubMed Central](#) [Google Scholar](#)

15. 15.

Lee HP, de Wang Y (2011) Objective assessment of increase in breathing resistance of N95 respirators on human subjects. *Ann Occup Hyg* 55(8):917–921.

<https://doi.org/10.1093/annhyg/mer065>

[Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

16. 16.

Melissant CF, Lammers JW, Demedts M (1998) Relationship between external resistances, lung function changes and maximal exercise capacity. *Eur Respir J* 11(6):1369–1375. <https://doi.org/10.1183/09031936.98.11061369>

[CAS](#) [Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

17. 17.

Louhevaara VA (1984) Physiological effects associated with the use of respiratory protective devices. A review. *Scand J Work Environ Health* 10(5):275–281.

<https://doi.org/10.5271/sjweh.2327>

[CAS](#) [Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

18. 18.

Kyung SY, Kim Y, Hwang H, Park JW, Jeong SH (2020) Risks of N95 face mask use in subjects with COPD. *Respir Care* 65(5):658–664.

<https://doi.org/10.4187/respcare.06713>

[Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

19. 19.

Harms CA, Wetter TJ, McClaran SR, Pegelow DF, Nickle GA, Nelson WB, Hanson P, Dempsey JA (1998) Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *J Appl Physiol* 85(2):609–618.

<https://doi.org/10.1152/jappl.1998.85.2.609>

[CAS](#) [Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

20. 20.

Convertino VA, Cooke WH, Lurie KG (2005) Inspiratory resistance as a potential treatment for orthostatic intolerance and hemorrhagic shock. *Aviat Space Environ Med* 76(4):319–325

[PubMed](#) [Google Scholar](#)

21. 21.

Ryan KL, Cooke WH, Rickards CA, Lurie KG (1985) Convertino VA (2008) Breathing through an inspiratory threshold device improves stroke volume during central hypovolemia in humans. *J Appl Physiol* 104(5):1402–1409.

<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00439.2007>

[Article](#) [Google Scholar](#)

22. 22.

Cheyne WS, Harper MI, Gelinac JC, Sasso JP, Eves ND (2020) Mechanical cardiopulmonary interactions during exercise in health and disease. *J Appl Physiol* 128(5):1271–1279. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00339.2019>

[Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

23. 23.

Amann M, Blain GM, Proctor LT, Sebranek JJ, Pegelow DF, Dempsey JA (2011) Implications of group III and IV muscle afferents for high-intensity endurance exercise performance in humans. *J Physiol* 589(Pt 21):5299–5309.

<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.213769>

[CAS](#) [Article](#) [PubMed](#) [PubMed Central](#) [Google Scholar](#)

24. 24.

Amann M, Proctor LT, Sebranek JJ, Pegelow DF, Dempsey JA (2009) Opioid-mediated muscle afferents inhibit central motor drive and limit peripheral muscle fatigue development in humans. *J Physiol* 587(1):271–283.

<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.163303>

[CAS](#) [Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

25. 25.

Blain GM, Mangum TS, Sidhu SK, Weavil JC, Hureau TJ, Jessop JE, Bledsoe AD, Richardson RS, Amann M (2016) Group III/IV muscle afferents limit the intramuscular metabolic perturbation during whole body exercise in humans. *J Physiol* 594(18):5303–5315. <https://doi.org/10.1113/jp272283>

[CAS](#) [Article](#) [PubMed](#) [PubMed Central](#) [Google Scholar](#)

26. 26.

Caneppele TMF, Borges AB, Pereira DM, Fagundes AA, Fidalgo TKS, Maia LC (2017) Mouthguard use and cardiopulmonary capacity—a systematic review and meta-analysis. *Sports Med Int Open* 1(5):E172–e182. <https://doi.org/10.1055/s-0043-117599>

[Article](#) [PubMed](#) [PubMed Central](#) [Google Scholar](#)

27. 27.

Francis KT, Brasher J (1991) Physiological effects of wearing mouthguards. *Br J Sports Med* 25(4):227–231. <https://doi.org/10.1136/bjism.25.4.227>

[CAS](#) [Article](#) [PubMed](#) [PubMed Central](#) [Google Scholar](#)

28. 28.

Bailey SP, Willauer TJ, Balilionis G, Wilson LE, Salley JT, Bailey EK, Strickland TL (2015) Effects of an over-the-counter vented mouthguard on cardiorespiratory responses to exercise and physical agility. *J Strength Cond Res* 29(3):678–684. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000668>

[Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

29. 29.

Kisely S, Warren N, McMahon L, Dalais C, Henry I, Siskind D (2020) Occurrence, prevention, and management of the psychological effects of emerging virus outbreaks on healthcare workers: rapid review and meta-analysis. *BMJ* 369:m1642. <https://doi.org/10.1136/bmj.m1642>

[Article](#) [PubMed](#) [PubMed Central](#) [Google Scholar](#)

30. 30.

Powell JB, Kim J-H, Roberge RJ (2017) Powered air-purifying respirator use in healthcare: Effects on thermal sensations and comfort. *J Occup Environ Hyg* 14(12):947–954. <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1358817>

[Article](#) [PubMed](#) [PubMed Central](#) [Google Scholar](#)

31. 31.

Damasio A, Carvalho GB (2013) The nature of feelings: evolutionary and neurobiological origins. *Nat Rev Neurosci* 14(2):143–152. <https://doi.org/10.1038/nrn3403>

[CAS](#) [Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

32. 32.

Strigo IA, Craig AD (2016) Interoception, homeostatic emotions and sympathovagal balance. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 371:1708.

<https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0010>

[Article](#) [Google Scholar](#)

33. 33.

Siebenmann C, Rasmussen P, Sørensen H, Zaar M, Hvidtfeldt M, Pichon A, Secher NH, Lundby C (2015) Cardiac output during exercise: a comparison of four methods. *Scand J Med Sci Sports* 25(1):e20–27. <https://doi.org/10.1111/sms.12201>

[CAS](#) [Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

34. 34.

Astorino TA, Edmunds RM, Clark A, King L, Gallant RA, Namm S, Fischer A, Wood KM (2017) High-intensity interval training increases cardiac output and  $VO_{2max}$ . *Med Sci Sports Exerc* 49(2):265–273. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000001099>

[Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

35. 35.

Daussin FN, Ponsot E, Dufour SP, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, Geny B, Piquard F, Richard R (2007) Improvement of  $VO_{2max}$  by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *Eur J Appl Physiol* 101(3):377–383. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0499-3>

[Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

36. 36.

Lepretre PM, Koralsztein JP, Billat VL (2004) Effect of exercise intensity on relationship between  $VO_{2max}$  and cardiac output. *Med Sci Sports Exerc* 36(8):1357–1363. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000135977.12456.8f>

[Article](#) [PubMed](#) [Google Scholar](#)

[Download references](#)

## Acknowledgement

Open Access funding provided by Projekt DEAL. We thank the volunteers from the staff of Leipzig University who participated in the study.

## Author information

### Author notes

1. Sven Fikenzer and T. Uhe contributed equally.

### Affiliations

1. Klinik und Poliklinik für Kardiologie, Universitätsklinikum Leipzig, Liebigstr. 20, 04103, Leipzig, Germany

Sven Fikenzer, T. Uhe, D. Lavall, U. Rudolph & U. Laufs

2. Institut für Sportmedizin und Prävention, Universität Leipzig, Marschner Str. 29, 04109, Leipzig, Germany

R. Falz & M. Busse

3. Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie, Universitätsklinikum Leipzig, Liebigstr. 20, 04103, Leipzig, Germany

P. Hepp

### Corresponding author

Correspondence to [Sven Fikenzer](#).

## Ethics declarations

### Conflict of interest

None.

## Rights and permissions

**Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

[Reprints and Permissions](#)

## About this article

### Cite this article

Fikenzer, S., Uhe, T., Lavall, D. *et al.* Effects of surgical and FFP2/N95 face masks on cardiopulmonary exercise capacity. *Clin Res Cardiol* (2020). <https://doi.org/10.1007/s00392-020-01704-y>

### [Download citation](#)

- Received 27 May 2020
- Accepted 30 June 2020
- Published 06 July 2020
- DOI <https://doi.org/10.1007/s00392-020-01704-y>

### Share this article

Anyone you share the following link with will be able to read this content:

Provided by the Springer Nature SharedIt content-sharing initiative

### Keywords

- Cardiopulmonary
- Exercise capacity
- Ventilation
- Surgical masks
- FFP2/N95

### [Download PDF](#)

- 
- • • [Abstract](#)
- [Introduction](#)
- [Materials and methods](#)
- [Results](#)
- [Discussion](#)
- [Limitations of the study](#)
- [Conclusion](#)
- [References](#)
- [Acknowledgement](#)
- [Author information](#)
- [Ethics declarations](#)
- [Rights and permissions](#)
- [About this article](#)

Advertisement

Over 10 million scientific documents at your fingertips

Switch Edition

- [Academic Edition](#)
- [Corporate Edition](#)
  
- [Home](#)
- [Impressum](#)
- [Legal information](#)
- [Privacy statement](#)
- [California Privacy Statement](#)
- [How we use cookies](#)
- [Manage cookies/Do not sell my data](#)
- [Accessibility](#)
- [Contact us](#)

Not logged in - 37.120.148.90

Not affiliated

[Springer Nature](#)

© 2020 Springer Nature Switzerland AG. Part of [Springer Nature](#).