

Különböző védőeszközök hőkamerás vizsgálata és a kilélegzett levegő sebességének mérése teljes gégeeltávolításon átesett betegekben COVID-19-pandémia idején

Egy új tesztelési módszer

Iszlai Zoltán dr.¹ ■ Fodor Béla² ■ Szabó Renáta dr.¹
Szekanecz Zoltán dr.³ ■ Karosi Tamás dr.¹

¹Borsod-Abaúj-Zemplén Vármegyei Központi Kórház és Egyetemi Oktatókórház,
Fül-orr-gégészeti és Fej-nyaksebészeti Osztály, Miskolc

²Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke, Miskolc

³Debreceni Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Klinikai Központ, Reumatológiai Klinika, Debrecen

Bevezetés: A teljes gégeeltávolításon átesett betegeknél a légsző és a tüdő a SARS-CoV-2 közvetlen fertőzésének további helyeként szolgálhat, mivel a légúti áramlás a tracheostomán keresztül történik.

Célkitűzés: Tanulmányunk célja volt, hogy megvizsgáljuk, LaryTube™ mellett a betegek képesek-e nagyobb mértékben aeroszolok terjesztésére, mint LaryTube™ nélkül, továbbá az, hogy megfigyeljük, vizsgálható-e különböző védőeszközök felszíne a hőkamera segítségével ebben a betegcsoportban. Fontos célkitűzésként szerepelt az is, hogy megerősítsük a feltételezést, miszerint a HME (heat and moisture exchanger – hő- és nedvességcserélő) használata önmagában nem nyújt védelmet COVID-19-pandémia esetén. Végül vizsgálataink során próbáltunk választ kapni arra a feltételezésünkre, hogy a HME belfelszínéről vett minta tesztelhető-e SARS-CoV-2 irányában.

Módszer: Teljes gégeeltávolításon átesett 23 beteg kilélegzett levegőjének sebességét mértük HME-vel és HME nélkül, LaryTube™ használatával, illetve anélkül. Az általunk kiválasztott védőeszközök felszínén hőkamerás vizsgálatot végeztünk, melyeket minden esetben a beteg stomája elé helyeztünk. A HME belfelszínéről és a trachea hátsó faláról vett váladékot az esetleges SARS-CoV-2-pozitivitás miatt PCR-vizsgálatnak vetettük alá.

Eredmények: LaryTube™-bal ellátott férfi betegeink HME nélkül 43%-kal gyorsabban fújták ki levegőjüket, mint a LaryTube™ nélküliek. Nők esetében ez az érték 39% fölött volt. A legalacsonyabb felszíni hőmérsékletet az FFP2-es maszk esetében regisztráltuk. A küldött minták PCR segítségével SARS-CoV-2-re tesztelhetők, vírus jelenlétét nem mutatták ki.

Következtetés: A teljes gégeeltávolításon átesett betegek LaryTube™ nélkül kisebb eséllyel képesek az aeroszolok terjesztésére, mivel hiányzik a tubus mint a stoma szűkítő tényezője. Ezen betegeknek ajánlott COVID-19-pandémia idején a víruszűrővel ellátott HME használata, sőt a legracionálisabb megoldás a tubus elhagyása és tapaszra cserélése a HME rögzítése miatt. A használt védőeszközök felszíne hőkamerával vizsgálható laryngectomián átesett betegek esetében is. Szükség esetén bevezethető a klinikai gyakorlatba a HME belfelszínéről vett minta PCR-tesztelése SARS-CoV-2 irányában, mely sokkal biztonságosabb módszernek bizonyult.

Orv Hetil. 2023; 164(34): 1327–1336.

Kulcsszavak: gégetubus, HME, SARS-CoV-2, teljes gégeeltávolítás, aeroszol

Thermal imaging and velocity measurements of the exhaled airflow in total laryngectomized patients during COVID-19 pandemic

A novel testing method

Introduction: In patients after total laryngectomies, the trachea and the lung can be easily infected by SARS-CoV-2 because the respiration happens through the tracheostoma.

Objective: The aim of our study was to examine whether patients with LaryTube™ can distribute aerosols to a greater extent than without LaryTube™, and to observe whether the surface of different protective instruments can be examined using the thermal camera in total laryngectomies. An important objective was also to confirm the assumption that the use of HME (heat and moisture exchanger) alone does not provide protection during COVID-19 pandemic. Finally, during our tests, we tried to get an answer to our assumption that the sample taken from the inner surface of the HME can be tested for SARS-CoV-2.

Method: A total of 23 patients who underwent total laryngectomies were analyzed by velocity measurements and thermal imaging with and without HMEs and laryngeal tubes, using different types of PPEs. COVID-19 PCR testing was performed on patient tracheas and the inner surfaces of the HMEs.

Results: Male patients with laryngeal tubes without HMEs demonstrated an increase in exhaled airflow velocity of more than 43% compared to male patients without laryngeal tubes; in female patients, the same value was more than 39%. Thermal imaging results confirmed that the lowest surface temperature was measured on FFP2 masks. The sent samples can be tested for SARS-CoV-2 using PCR, the presence of the virus was not detected.

Conclusion: Laryngectomized patients without laryngeal tubes pose a lower risk for spreading viral aerosols due to the reduced velocity of the exhaled airflow caused by the absence of the tube as the narrowing factor. Patients with laryngeal tubes who undergo total laryngectomies during the COVID-19 pandemic should use HMEs with viral filter, if possible, also changing the laryngeal tubes to dermal adhesives for fitting their HMEs seems to be the best option. The surface of the used protective equipment can also be examined with thermal camera in the case of total laryngectomies. COVID-19 PCR testing of the tracheal secretion from the inner HME surfaces should become a routine in clinical practice if deemed necessary.

Keywords: laryngeal tube, HME, SARS-CoV-2, total laryngectomy, aerosol production

Iszlai Z, Fodor B, Szabó R, Szekanecz Z, Karosi T. [Thermal imaging and velocity measurements of the exhaled airflow in total laryngectomized patients during COVID-19 pandemic. A novel testing method]. *Orv Hetil.* 2023; 164(34): 1327–1336.

(Beérkezett: 2023. április 7.; elfogadva: 2023. június 2.)

Rövidítések

COVID-19 = (coronavirus disease 2019) koronavírus-betegség 2019; HME = (heat and moisture exchanger) hő- és nedvességcserélő; PCR = (polymerase chain reaction) polimeráz-lánreakció; SARS-CoV-2 = (severe acute respiratory syndrome coronavirus 2) súlyos akut légúti tünetegyüttest okozó koronavírus-2

A COVID-19 első alkalommal 2019. decemberben került közlésre Kínában, Vuhan tartományban. A SARS-CoV-2-fertőzés fontossága hamar értelmet nyert, mivel az ehhez köthető halálozások száma jelenleg meghaladja a 6,6 milliót. Az aeroszolok a legfontosabb meghatározói a vírustranszmisszióknak. Amennyiben a vírustranszmisszió során a gazdatestben az infekció megvalósul, a tünetek közé soroljuk többek között a köhögést, a lázat, a légszomjat, a torokfájdalmat, az izomfájdalmat, illetve a megnövekedett nyákképződést is [1].

A teljes gégeeltávolításon átesett betegeknél a stoma jelenléte megsokszorozza a fertőzés kockázatát, mivel kialakításra kerül egy olyan nyálkahártyamembrán, melyen a potenciálisan fertőző víruspartikulumok megtapadhatnak, vagy a stomán keresztül egyenesen a légcsőbe és az alsó légutakba kerülhetnek. SARS-CoV-2-pozitivitás esetén a beteg környezete fertőzőnek tekintendő, a kötelező higiéniai szabályok betartása elengedhetetlen. *Hennessy és mtsai* [2] megerősítették, hogy a HME-k

(heat and moisture exchanger – hő- és nedvességcserélő) és a stoma előtti védőeszközök használata segíthet csökkenteni az expozíciót és az átviteli kockázatot a teljes gégeeltávolításon átesett betegek körében. A stoma előtti N95-ös légzésvédő korlátozott értékű, mivel nem tud megfelelő tömítést létrehozni a stoma körül. Sok beteg előnyben részesíti a laryngectomiás tubusokat, de a stomához alaplemezzel rögzített HME lehetővé teszi azt a tömítést, amely az összes levegőt átnyomja a HME-n az aeroszolképződés minimalizálására [2, 3].

A HME-k alkalmazása sebészi maszkok rendszeres használatával – a száj és az orr nyálkahártyájával való érintkezés megakadályozására – a közösségen belüli tevékenységek során fontos a laryngectomián átesett betegek esetében. Eddig csak egy gyártó biztosított két HME-t vírus- és baktériumszűrővel, a Provox® Micron™ és a Provox® Life Protect™ HME-t (Atos Medical, Troisdorf, Németország), amelyek 99%-os vagy azzal egyenértékű vírus- és bakteriális védelemmel rendelkeznek a MIL-M-36954C és az ASTM F2101 szabványok szerint [4, 5].

Járványügyi helyzet esetén törekedni kell a felesleges kontakthelyzetek kerülésére, lehetőség szerint használnunk kell a telemedicinát, de a fizikális vizsgálatot is lehetővé kell tenni a járványügyi szabályok maximális betartása mellett azon betegeknél, akiknél ez mindenképp szükséges [6]. A teljes gégeeltávolításon átesett betegeknél a légcső és a tüdő a SARS-CoV-2 közvetlen fertőzésének helyeként szolgálhat, hiszen a légúti áramlás a

tracheostomán keresztül történik. A SARS-CoV-2 légszűrőmaszkokból történő tesztelése megfontolandó az orrüregi teszteléssel együtt. Több központ javasolja az alsó légúti minták vizsgálatát, ha ezek rendelkezésre állnak [7].

A felső légúti és a tápcsatornai traktus manipulálása köhögéssel jár. Az orrüreg, a szájüreg és a garat endoszkópos vizsgálatát is aeroszolképző eljárásként kell kezelni, melynek során nagy a vírusátvitel kockázata. Magyarországon a SARS-CoV-2-vakcinák megjelenése előtt az endoszkópos laborok dolgozóinál a COVID-19-fertőzések 15%-a a nem megfelelő védőfelszerelések használatával volt összefüggésbe hozható [8, 9].

Feltételezzük, hogy a teljes gégeeltávolításon átesett betegek egészségügyi személyzet általi biztonságos kezelése továbbra is kihívást jelent a stoma jelenléte és a felső légúti traktus hiánya miatt. A COVID-19 elleni védekezés legjobb módszere a teljes gégeeltávolításon átesett betegek körében még nem ismert, ami a kilélegzett levegő sebességét illeti különböző szituációk esetében (gégetubus, HME használata). A férfiak és a nők közötti különbségek a fentiekre való tekintettel még nincsenek tisztázva.

Az alsó légutakból történő mintavétel veszélyes, mivel a köhögés kockázata és ezzel az aeroszol képződési esélye megnövekszik.

A stoma előtti sebességméréssel ki tudjuk mutatni a kilélegzett levegő sebességét. Szükség esetén hőkamerával mérhető a széles körben használt védőfelszerelések felületének hőmérséklete (géz, sál, sebészeti maszk, FFP2-es maszk) a teljes gégeeltávolításon átesett betegeknél. A köhögés kockázatának csökkentésére észszerű megoldásnak tűnik a HME belső oldaláról vett minta PCR-vizsgálata.

Anyag és módszer

A vizsgálat a Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Központi Kórház és Egyetemi Oktatókórház Tudományos Igazgatóságának (196/2020. szám) felügyelete mellett készült

a Helsinki Nyilatkozat értelmében. Minden beteg tájékoztatáson alapuló beleegyezését adta.

Az összes egészségügyi és mérnöki személyzet FFP3-as maszkból, védőszemüvegből, dupla sebészeti kesztyűből és teljes testet fedő védőruházatból álló védőfelszerelést viselt a mérések során, melyek a magyarországi COVID-19-pandémia második hullámának idején, 2020. 12. 01. és 2020. 12. 30. között történtek.

Betegek

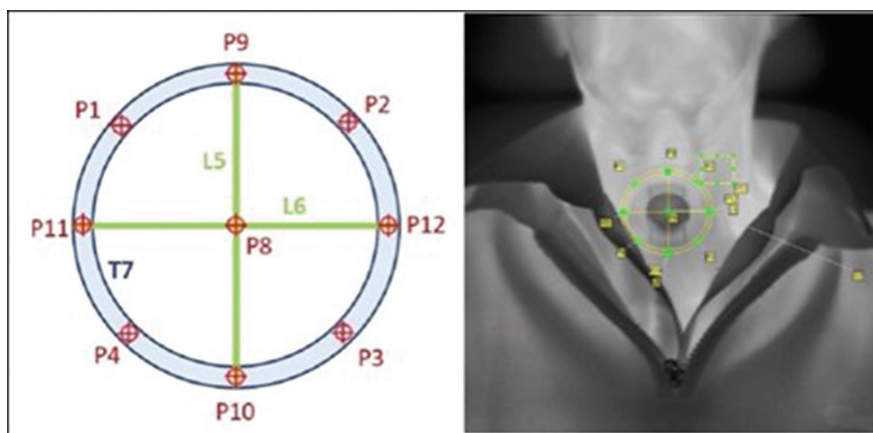
A vizsgálatban 23 beteget (16 férfi és 7 nő) elemeztünk teljes gégeeltávolítás és hangprotézis-beültetés után (Provox® Vega™, 8-as méret; Atos Medical). 12 beteg azonos méretű Provox® LaryTube™-ot használt peristomalisan ragasztó nélkül, a fennmaradó 11 beteg pedig Provox® FlexiDerm™-et, LaryTube™ használata nélkül. Minden beteg a Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Központi Kórház és Egyetemi Oktatókórház Fül-orr-gége és Fejnyaksebészeti Osztálya Gégeklubjának tagja volt. A betegek átlagéletkora 65,6 év volt, a legidősebb 75 éves, a legfiatalabb 52 éves volt.

Minden beteget kértünk, hogy nyugodtan lélegezzen. Az átlagos légzésszám 19,86/perc volt.

Hőkamera és az eredmények szemléltetése

A hőképkalkotást Jenoptik VarioCAM® HD Research 680/780 kamerával (Jenoptik GmbH, Jéna, Németország) és IRBIS® 3 szoftverrel (InfraTec, Drezda, Németország) végeztük. A kamerát minden ülő páciensről 0,5 m-re helyeztük el egy 12 m³-es, 26,6 °C-os helyiségben. A képek közötti frekvencia 2 Hz volt, az eredményeket Celsius-fokban (°C) adtuk meg.

A stoma felületét a szoftver kör alakban térképezte fel a P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11 és P12 termikus pontértékek felhasználásával. A kört alkotó P-pontok középhőmérséklete a T7. Az L5 az átlaghőmérsékletet jelöli a gyűrű közepét keresztező függőleges



1. ábra

A szoftverrel feltérképezett gyűrű sémája a termikus pontokkal, amelyen minden egyes, hőképkalkotáshoz használt pont és vonal látható (bal oldalon), valamint egy férfi beteg stomája FlexiDerm™ és HME segítségével, amelyeket a szoftver folyamatosan elemzett (jobb oldalon)

HME = hő- és nedvességcserélő

vonal mentén, az átlaghőmérsékletet pedig a gyűrű közé-
pét keresztező vízszintes vonal mentén L6-nak neveztük
el. A fent leírt szoftveres térképezési technikát minden
betegnél alkalmaztuk (1. ábra). A stomára összpontosít-
va az oldalirányú szivárgásokat nem elemeztük. Ugyan-
annak a páciensnek a hőkamerás vizsgálata minden hely-
zetben megtekinthető a következő URL-oldalon:
<https://www.youtube.com/watch?v=C6zFzKzDQs8>.



2. ábra | A kilélegzett levegő sebességének mérése kb. 1 cm-re a stoma felszínétől



3. ábra | A kilélegzett levegő sebességének mérése a HME négy oldalsó perforációjának egyikén
HME = hő- és nedvességszerelő

Sebességmérés

A kilélegzett levegő áramlási sebességét a LaryTube™/stoma előtt körülbelül 1 cm-re Testo műszerrel (445-05604450) mértük teleszkópos érzékelővel (0600-9993) (Testo SE, Lenzkirch, Németország) (2. ábra). A hőmérsékleti tartomány $-50-150\text{ °C}$ volt, $\pm 1,5\text{ °C}$ hibával. Minden eredmény méter per másodpercben (m/s) van megadva. Mind a négy HME-perforáció egyidejű mérése nem volt lehetséges, ezért a legmagasabb értéket rögzítettük (3. ábra).

Egyéni védőeszközök

HME-k: a Provox® Xtra Flow™ HME-t (Atos Medical) négy perforációval (oldalsó oldalon) használta minden beteg. 12 beteg használta a Provox® LaryTube™-ot, és 11 a Provox® FlexiDerm™ ragasztót (Atos Medical) a HME-k rögzítéséhez.

Sálak: azonos típusú és vastagságú sálát használt minden beteg, ugyanabból az anyagból, amely eltakarta stomájukat.

Gézlap: 3 rétegű, $10 \times 10\text{ cm}$ átmérőjű géz. A perforációk nagy száma miatt a HME burkolásának ez a módszere optimálisnak tűnt a kilélegzett légáram közvetlen hőmérsékletének a felületen történő leérésére.

Sebészi maszk: minden betegnél ugyanazt a típusú sebészi maszkot használtuk.

FFP2-es maszk: a laposabb felület kialakításához a maszk felső harmadát 3 cm -hosszan bevágtuk (4. és 5. ábra).

A védőfelszereléseket a fenti sorrendben helyeztük a betegek stomája elé. Minden beteg esetében folyamatosan történtek a védőeszközök felszínének infravörös mérései, melyeket egy ülésben végeztünk el.

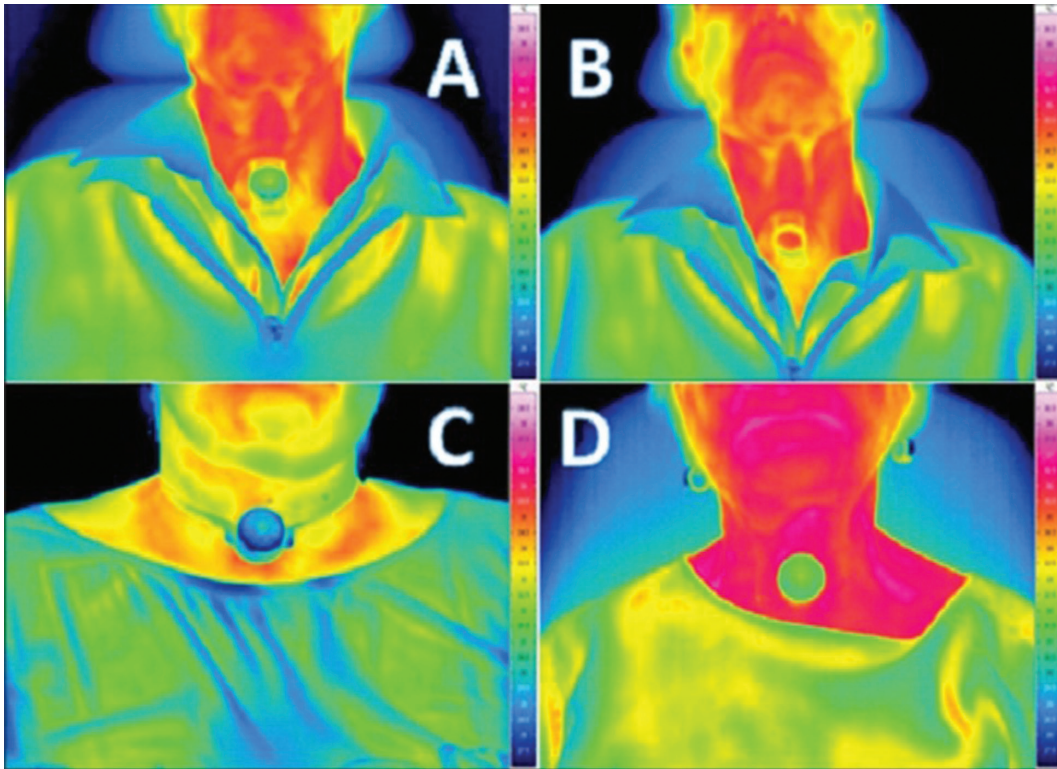
COVID-19-tesztelés

Minden betegnél kettős COVID-19-tesztet végeztünk. Az első tampont a légcső felszínén, a második tampont a HME belső oldalán használtuk. Minden mintát elküldtünk SARS-CoV-2-PCR-vizsgálatra.

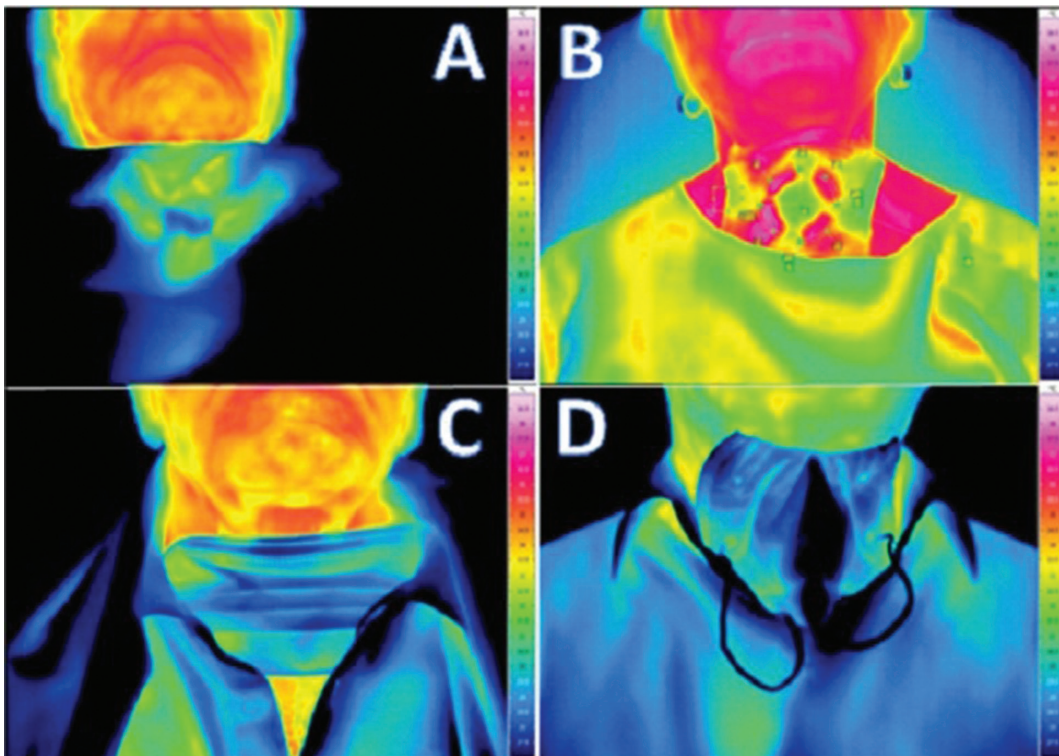
Eredmények

A LaryTube™ és HME nélküli férfi betegek ($n = 8$) átlagos kilélegzett légáramlási sebessége $2,52\text{ m/s}$ volt, a LaryTube™ és HME nélküli nőbetegeké ($n = 3$) $1,47\text{ m/s}$. Ezek az eredmények azt mutatták, hogy a férfiak $41,67\%$ -kal nagyobb kilégzési sebességet értek el, mint a nők.

Ezzel szemben a HME viselése $1,30\text{ m/s}$ átlagos sebességet eredményezett (a négy HME-perforáció egyikén) a férfiaknál és $1,19\text{ m/s}$ -ot a nőknél. Ebben az esetben a férfiaknak csupán $8,47\%$ -kal volt nagyobb a kilélegzett légáramlási sebességük (a négy HME-perforáció egyikén), mint a nőknek.

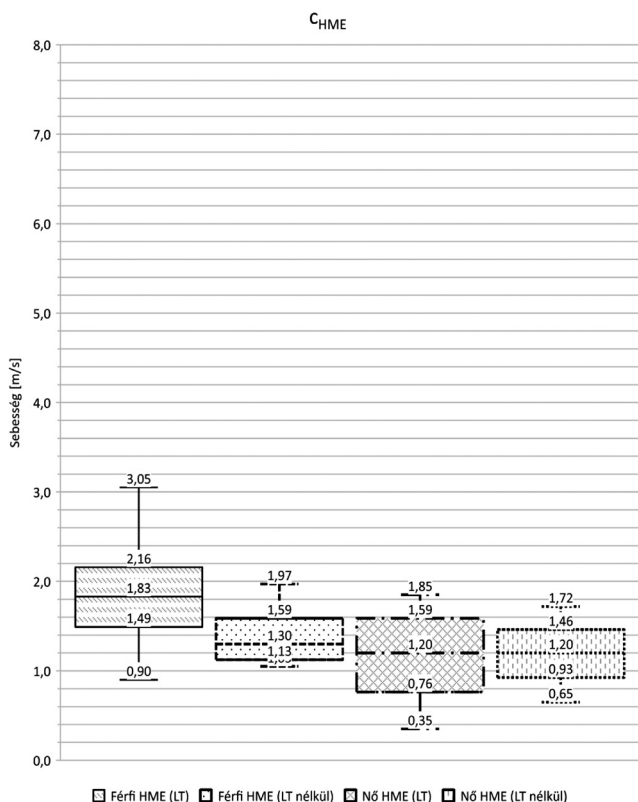


4. ábra | Négy különböző páciens hőkamerás képe. A) FlexiDerm™-et használó férfi beteg HME-vel. B) Csak FlexiDerm™-et használó férfi beteg. C) Nőbeteg a LaryTube™-ot és HME-t használva. D) Nőbeteg csak LaryTube™-bal
HME = hő- és nedvességcserélő

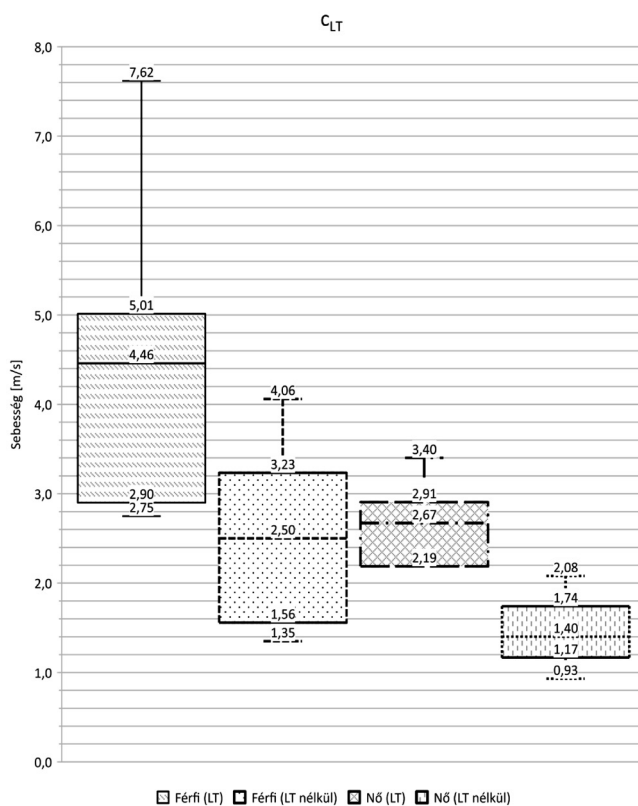


5. ábra | Hőkamerás képek különböző típusú egyéni védőfelszerelésekkel. A) férfi beteg HME-t használ a sál mögött. B) HME-s nőbeteg gézlapot használva 3 rétegben. C) HME-s férfi beteg a sebészeti maszk használatában. D) HME nélküli férfi beteg az FFP2-es maszk használatával

HME = hő- és nedvességcserélő



6. ábra HME-s betegek sebességmérése
HME = hő- és nedvességcserélő; LT = LaryTube™



7. ábra LaryTube™-os betegek sebességmérése
LT = LaryTube™

A LaryTube™-bal ellátott (HME nélkül) férfi és női betegek átlagos légáramlási sebessége 4,43 m/s (n = 8), illetve 2,42 m/s (n = 4) volt. Ezek az értékek 45,38%-os sebességnövekedést mutattak a férfiak esetében. A LaryTube™-bal ellátott HME viselése 1,88 m/s átlagsebességet eredményezett a férfiaknál és 1,15 m/s-ot a nőknél, ami 38,83%-os sebességnövekedést mutatott a férfiak esetében a fenti körülmények között.

A légáramlás sebessége LaryTube™-bal és a nélkül (mindkettő HME nélkül) a férfiaknál 4,43 m/s, illetve 2,51 m/s volt. Ezek az eredmények 43,35%-kal nagyobb kilégzési sebességet mutattak a LaryTube™ használata esetén.

A LaryTube™-os nők átlagos kilégzési áramlása 2,42 m/s volt; amikor a betegek nem viselték a LaryTube™-ot, az érték 1,47 m/s-ra csökkent. Ez az eredmény azt mutatta, hogy a LaryTube™-bal ellátott csoportban 39,26%-kal nőtt a sebesség.

A sebességmérés értékei az egyes helyzetekben a 6. és 7. ábrán láthatók. A betegcsoportok átlagértékeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat Az egyes betegek értékei és a betegcsoportok átlagértékei sebességben

Férfiak: LaryTube™ igen/nem	HME: igen/nem	HME: igen/nem
F1	0,35 m/s	1,35 m/s
F2	1,05 m/s	1,55 m/s
F3	1,20 m/s	2,70 m/s
F4	1,15 m/s	1,56 m/s
F5	1,97 m/s	4,06 m/s
F6	1,70 m/s	2,30 m/s
F7	1,55 m/s	3,16 m/s
F8	1,40 m/s	3,45 m/s
	Átlag: 1,30 m/s	Átlag: 2,52 m/s
Férfiak: LaryTube™ igen/nem	HME: igen/nem	HME: igen/nem
F9	3,05 m/s	5,50 m/s
F10	0,90 m/s	2,90 m/s
F11	2,02 m/s	2,90 m/s
F12	1,47 m/s	4,85 m/s
F13	2,36 m/s	7,62 m/s
F14	1,50 m/s	2,75 m/s
F15	2,09 m/s	4,20 m/s
F16	1,64 m/s	4,72 m/s
	Átlag: 1,88 m/s	Átlag: 4,43 m/s
Nők: LaryTube™ igen/nem	HME: igen/nem	HME: igen/nem
N1	0,65 m/s	1,40 m/s
N2	1,72 m/s	2,08 m/s
N3	1,20 m/s	0,93 m/s
	Átlag: 1,19 m/s	Átlag: 1,47 m/s
Nők: LaryTube™ igen/nem	HME: igen/nem	HME: igen/nem
N5	0,90 m/s	2,60 m/s
N6	0,35 m/s	0,95 m/s
N7	1,85 m/s	2,74 m/s
N8	1,50 m/s	3,40 m/s
	Átlag: 1,15 m/s	Átlag: 2,42 m/s

HME = hő- és nedvességcserélő

2. táblázat | Az alkalmazott mérések statisztikai hipotézis-teszteléssel kiegészített eredményei

HME-vel	Verzió	$x_{\text{átlag}}$	s	α	n	$s_{x_{\text{átlag}}}$	df	t_{krit}	t	$c_{\text{átlag}}$
		(m/s)			(db)					(m/s)
Férfi (LT)	0.	1,88	0,65	5%	8	0,23	7	2,37	2,24	1,36
Férfi (LT nélkül)		1,30	0,49	5%	8	0,17	7	2,37	-0,37	1,36
Nő LT		1,15	0,66	5%	4	0,33	3	3,18	-0,63	1,36
Nő (LT nélkül)		1,19	0,54	5%	3	0,31	2	4,30	-0,55	1,36
Összes férfi	1.	1,59	0,63	5%	16	0,16	15	2,13	1,44	1,36
Összes nő	2.	1,17	0,56	5%	7	0,21	6	2,45	-0,91	1,36
Férfi + Nő (LT)	3.	1,64	0,72	5%	12	0,21	11	2,20	1,32	1,36
Férfi + Nő (LT nélkül)	4.	1,27	0,48	5%	11	0,14	10	2,23	-0,64	1,36
Összes	5.	1,46	0,63	5%	23	0,13	22	2,07	0,76	1,36
HME nélkül	Verzió	$x_{\text{átlag}}$	s	α	n	$s_{x_{\text{átlag}}}$	df	t_{krit}	t	$c_{\text{átlag}}$
		(m/s)			(db)					(m/s)
Férfi (LT)	0.	4,43	1,65	5%	8	0,58	7	2,37	5,25	1,36
Férfi (LT nélkül)		2,52	1,00	5%	8	0,35	7	2,37	3,28	1,36
Nő LT		2,42	1,04	5%	4	0,52	3	3,18	2,04	1,36
Nő (LT nélkül)		1,47	1,24	5%	3	0,71	2	4,30	0,15	1,36
Összes férfi	1.	3,47	1,65	5%	16	0,41	15	2,13	5,13	1,36
Összes nő	2.	2,01	0,96	5%	7	0,36	6	2,45	1,81	1,36
Férfi + Nő (LT)	3.	3,76	1,74	5%	12	0,50	11	2,20	4,79	1,36
Férfi + Nő (LT nélkül)	4.	2,23	1,00	5%	11	0,30	10	2,23	2,89	1,36
Összes	5.	3,03	1,60	5%	23	0,33	22	2,07	4,99	1,36

α = szignifikanciaszint; df = szabadságfok; HME = hő- és nedvességcserélő; LT = LaryTube™; n = mintaérték száma, standard hibája; s = szórás; $s_{x_{\text{átlag}}}$ = az átlag; $x_{\text{átlag}}$ = átlagérték

Statisztika

Az alkalmazott méréseket statisztikai hipotézis-teszteléssel egészítettük ki, hogy megvizsgáljuk a korrelációt a normálalanyok és a teljes gégeeltávolításon átesett betegek között. Mivel egy kisebb betegcsoportot használtunk, egymintás t -próbát végeztünk. A teszteléshez 1,36 m/s sebességet használtunk (normális átlagos kilégzési sebesség normálalanyoknál) [10, 11]. A tesztelést több betegcsoporton (0–5) végeztük 5%-os szignifikanciaszint ($\alpha = 5\%$) mellett, és minden esetben kritikus t -értéket alkalmaztunk (2. táblázat).

Termometrikus eredmények

HME-vel ellátott betegek

A HME-vel ellátott betegeknél a kilélegzett légáramlás maximális középhőmérséklete gézkötésen 33,6 °C volt. A kendővel azonnali csökkenést észleltünk, ami 31,57 °C-os átlaghőmérsékletet eredményezett. 30 °C alatti kilélegzett légáramlási hőmérsékletet rögzítettünk a sebészi és az FFP2-es maszkok használatakor. A sebészi maszkokkal 29,71 °C-os, az FFP2-es maszkokkal pedig 28,08 °C-os átlaghőmérsékletet regisztráltunk. Követke-

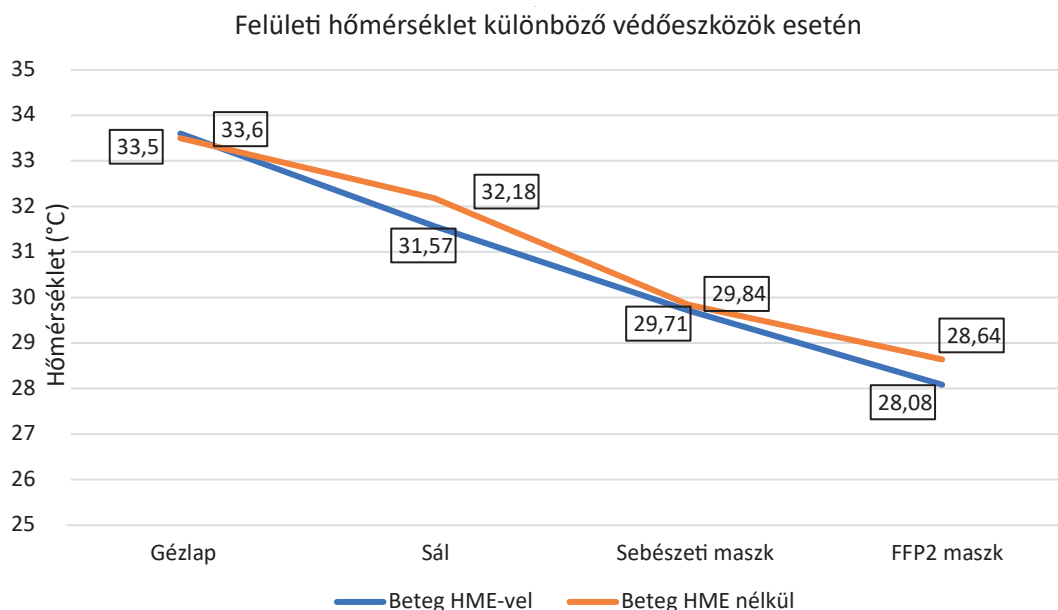
zőképpen a HME-vel ellátott betegek esetében a hőmérséklet csökkenési sorrendje a következő volt: gézkötés, sál, sebészi maszk és FFP2-es maszk.

HME nélküli betegek

A kilélegzett légáram átlaghőmérséklete 33,5 °C volt a HME nélküli, gézkötést viselő betegek csoportjában. Ezt átlagosan 1,32 °C-os csökkenés követte, amikor a betegek sálat viseltek, ez 32,18 °C-os átlaghőmérsékletet eredményezett. Sebészi maszk viselésekor az átlaghőmérséklet 29,84 °C volt, az FFP2-es maszk viselése pedig 28,64 °C-os átlagos légáramlási hőmérsékletet eredményezett. Ennek megfelelően azt találtuk, hogy a HME nélküli betegeknél a különböző típusú védőeszközök felszíni hőmérsékletének csökkenési sorrendje megegyezett a HME-s betegeknél megfigyeltével, nevezetesen: gézkötés, sál, sebészi maszk és FFP2-es maszk (8. ábra).

COVID-19-tesztelés

Az összes teszt negatív eredménnyel zárult a SARS-CoV-2-re vonatkozóan.



8. ábra

Különböző védőfelszerelések hőmérséklet-különbsége HME-vel vagy anélkül. Az FFP2-es maszk produkálta a legalacsonyabb hőmérsékletet a felületén, ezt követte a sebészeti maszk, a sál és a gézlap

HME = hő- és nedvességcserélő

Megbeszélés

Az átlagos légáramlási sebesség LaryTube™ nélkül különbözött a férfiak és a nők között, és több mint 41%-kal nagyobb volt a férfiaknál. A LaryTube™-bal ellátott betegeknél a férfiak légáramlási sebessége több mint 45%-kal volt nagyobb, mint a nőknél. Ha csak a férfiakat hasonlítottuk össze LaryTube™-bal és anélkül (HME nélkül), több mint 43%-os növekedést észleltünk.

A LaryTube™-os és anélküli (HME nélküli) nők esetében az összehasonlítás azt mutatta, hogy a légáramlás sebessége 39%-kal nőtt LaryTube™ használatakor.

Az endotrachealis páratartalom és hőmérséklet mérése során, különböző típusú HME-k használata esetén *Scheenstra és mtsai* [10], gégeeltávolításon átesett betegnél átlagosan 18 lélegzés/perc lélegzési számot mértek [12]. Vizsgálatunkban a percenkénti átlagos levegővétel 19,86 volt. Esetünkben 9,37%-os növekedés figyelhető meg, azonban kiemelendő, hogy nagyobb számú betegcsoporttal dolgoztunk.

A permetezési távolság nagyon fontos mértékegységnek számít a vírusátviteli potenciál szempontjából SARS-CoV-2-fertőzés esetén. *Fontes és mtsai* a m/s sebességvektort használták az orr/szájüregek esetében a normálalanyoknál a vírusátvitel demonstrálására. Ennek a vizsgálatnak az eredményei alapján a nők kisebb valószínűséggel terjesztik a levegőben terjedő kórokozókat, mint a férfiak [5].

Egy tengelyszimmetrikus légsugár-turbulencia jellemzőit tanulmányozva *Szabó és mtsai* megerősítik, hogy a kiáramlási sebesség alapvető jellemzője a kiáramló gáz energiájának a kiáramlási keresztmetszetben, és ennek változása a távolságtól függ [13].

A normálalanyokon végzett sebességmérések azt mutatják, hogy az emberi orrból, orrból és szájból, illetve csak a szájból kilélegzett levegő átlagos sebessége 1,08–1,64 m/s [10, 11].

A tanulmányunkban alkalmazott statisztikai hipotézis azt mutatja, hogy HME nélkül az átlagtól való eltérés nagyobb a férfiaknál és a nőknél külön-külön, utalva arra, hogy a betegek környezete ezekben az esetekben nagyobb arányban volt terhelve. A teljes csoportot LaryTube™-bal vizsgálva ugyanez a hatás volt megfigyelhető, különösen a férfiaknál. Méréseink pontosítását eredményezte volna, ha betegeink értékeit más típusú gégekanüllel rendelkező betegekkal hasonlítjuk össze, csoportunkban azonban ez nem volt megvalósítható. Továbbá fontos hangsúlyt fektetni arra, hogy mivel adott számú betegcsoporttal dolgoztunk, a nőbetegek száma esetünkben alacsonyabb volt.

A LaryTube™ esetében a sokkal nagyobb kilélegzett levegőáramlási sebesség a légcső átmérőjének a behelyezett cső általi szűkítéséből adódik. Mivel a permetezés távolsága döntő tényező pozitív SARS-CoV-2-fertőzés esetén, a LaryTube™ viselése (HME-vel vagy anélkül is) nagyobb kockázatot jelent az aeroszollal történő fertőzésre a kilélegzett légáramlás sebességének jelentős növekedése miatt. Annak ellenére, hogy ez a tanulmány teljes gégeeltávolításon átesett betegeken alapszik, párhuzamot vonhatunk *Fontes és mtsai* megfigyelésével, mely szerint a férfiak nagyobb valószínűséggel terjesztik aeroszolkepződés során a kórokozókat, mint a nők [5]. E jelenség miatt döntöttünk úgy, hogy vizsgálatunkban a férfiakat összehasonlítjuk a nőkkel.

LaryTube™-on történő kilélegzett levegő mérését az általunk széles körben felkutatott világirodalomban nem

végeztek. A fentiek miatt a mért értékeket normálalanyok értékeivel hasonlítottuk össze, ami ebben a formában az esetleges SARS-CoV-2-fertőzés esetén a célcsoportra vonatkozó kiugró értékeket a legjobban szemléltetik. Mivel tanulmányunkban normálalanyok kilélegzett levegőjének sebességmérését nem végeztük az esetleges SARS-CoV-2-fertőzés minimalizálására, ezek az eredmények jelenleg hipotetikusan értelmezhetők.

HME-s betegeink esetében az elemzés nem volt kellően precíz, mivel nem tudtuk egyszerre megmérni mind a négy perforációt a HME oldalán. Ezekben az esetekben a legnagyobb értéket tüntettük fel. Az eredményekben leírtak szerint a légáramlási sebesség különbsége a HME-vel rendelkező férfiak és nők között (de gégetubus nélkül) csak 8,47% volt (a férfiaknál nagyobb). Ezzel szemben a különbség több mint 38,83%-ra nőtt a HME-vel és LaryTube™-bal ellátott betegeknél, ami sokkal nagyobb kilélegzett levegőáramlási sebességet generált, különösen a férfiak esetében.

Bagheri és mtsai szerint az FFP2-es maszk használatát előnyben kell részesíteni a sebészi maszkok használatával szemben, mivel megfigyelhető, hogy SARS-CoV-2 esetében a fertőzést a lazán hordott FFP2-es maszk is 2,5 faktossal csökkentheti a szoroson felhelyezett sebészi maszkkal összehasonlítva. Mivel különböző anyagokból készülnek, minden maszk hatékonysága specifikus és részletes vizsgálatot igényel (például átteresztőképesség) legfőképp a kilélegzett levegő iránya szempontjából abban az esetben, ha ez gátolva van [14, 15].

Termikus infravörös képalkotással, amelyet *Scarano és mtsai* végeztek 2020-ban, bebizonyították, hogy az N95-ös maszkot használó normálbetegeknél ($n = 20$) a felületi hőmérséklet az érdeklődési helyeken (orr, két arcfél és áll) szignifikánsan alacsonyabb volt a belégzés és a kilégzés időpontjában, mint a sebészi maszkot viselő csoportban. Ezen túlmenően ez a tanulmány bebizonyította, hogy a belégzés és a kilégzés meghatározott területe termikusan követhető különböző típusú egyéni védőeszközök esetében [16].

Tanulmányunkban az FFP2-es maszk felületén mértük a legalacsonyabb átlaghőmérsékletet, ezt követte a sebészi maszk, a sál és a gézlap. Ez a megfigyelés azt mutatja, hogy nemcsak normálalanyoknál mérhető termikusan a vizsgált terület a különböző típusú egyéni védőeszközök tekintetében, hanem teljes gégeeltávolításon átesett betegeknél is (tekintettel arra, hogy esetünkben a mért terület a stoma volt). Annak ellenére, hogy az FFP2-es maszk felületén, a stoma előtt mértük a legalacsonyabb hőmérsékleti értékeket, nem találtunk összefüggést e tekintetben a COVID-19 elleni védekezés és az aeroszolok terjedése között, mivel tanulmányunkban SARS-CoV-2-pozitivitással rendelkező beteg nem szerepelt.

A COVID-19-PCR-vizsgálat során megfigyeltük, hogy a HME belfelszínéről vett minta tesztelhető-e PCR során SARS-CoV-2-re, illetve ezt összehasonlítottuk a

trachea hátsó faláról vett mintával. Ezt a stratégiát arra a tényre alapoztuk, hogy a tracheobronchialis mucociliaris 'clearance' növekedése (a műtét utáni első 3 hónapban akár 50%-kal magasabb), valamint az orr- és nasopharyngealis mucociliaris 'clearance' csökkenése vagy akár leállása figyelhető meg azoknál a teljes gégeeltávolításon átesett betegeknél, akik krónikus légúti fertőzésben szenvednek [17, 18]. A közvetlenül a légcsőből történő tesztelés veszélyesebb az esetleges aeroszollal történő fertőzések szempontjából, ezért a teljes védőeszköz használata kulcsfontosságú. Megfigyelhető volt, hogy a légcsőfal bármely oldalának megérintése a tamponnal köhögési reflexet váltott ki sok beteg esetében. Tesztelés során a legpontosabb értékeket abban az esetben kaptuk volna, ha SARS-CoV-2-pozitív betegek esetében végeztük a PCR-vizsgálatainkat, kiegészítve orr-garati mintavétellel is, ez azonban a kialakult potenciális fertőzésveszély miatt a pandémia második hullámának idején nem volt kivitelezhető. Mivel minden teszt negatív eredménnyel zárult, a mi szemszögünkben azt bizonyítja, hogy a gyakorlatban a HME belső oldaláról származó légcsőváladék PCR során tesztelhető SARS-CoV-2-re, aminek körülményei jóval biztonságosabbnak bizonyultak egészségügyi személyzetünk számára.

Következtetés

Férfiak esetében a LaryTube™ viselése akár HME-vel, akár anélkül, egészségügyi személyzetünk számára nagyobb kockázatot jelentett az aeroszolképződés miatt, mivel a kilélegzett légáramlás sebessége jelentősen megnőtt, amint azt sebességméréseink kimutatták.

Véleményünk szerint a HME használata nem egyenértékű semmilyen típusú védelemmel. Az egészségügyi minisztériumoknak érdemes fontolóra venniük, hogy nyújtsanak pénzügyi támogatást ezen betegcsoportnak annak érdekében, hogy vírus- és bakteriális szűrőkkel ellátott HME-ket tudjanak vásárolni, különösen a COVID-19-világjárvány idején.

HME-vel vagy anélkül, a teljes gégeeltávolításon átesett betegek esetében kettős védelemre lenne szükség: a száj és az orr, valamint a stoma védelmére.

Mivel a gégetubusok használata megnövekedett légáramlási sebességet eredményezett, egyetértünk *Hennessy és mtsai* [2] megfigyelésével, miszerint ezek cseréje ajánlott dermalis ragasztókra, és a HME-k vírusszűrőkkel való felszerelése elengedhetetlen.

Mivel tanulmányunkban minden PCR-teszt negatív eredménnyel zárult, megfontolandó a HME-k belső felületéről származó légcsőváladék vizsgálata SARS-CoV-2 esetében, illetve e módszer bevezetése ajánlott a klinikai gyakorlatba.

Nagyobb betegszám, más típusú gégetubusok használata, esetleges SARS-CoV-2-pozitív betegek bevonása jobban kiemelné tanulmányunk fontosságát, a fentiek alapján azonban a látható, hogy az egészségügyi személyzetnek tisztában kell lennie azzal, hogy bizonyos

esetekben a LaryTube™ használata teljes gégeeltávolítás után az egyént szuperterjesztővé teheti SARS-CoV-2-fertőzés esetén.

Anyagi támogatás: A közlemény megírása anyagi támogatásban nem részesült.

Szerzői munkamegosztás: I. Z.: A hipotézis kidolgozása, a kézirat megírása. F. B.: A vizsgálat lefolytatása, statisztikai elemzés. Sz. R.: A tesztek kivitelezése. Sz. Z.: Irodalomkutatás, korrektúra. K. T.: A hipotézis kidolgozása, a tudományos munka felügyelete. A cikk végleges változatát valamennyi szerző elolvasta és jóváhagyta.

Érdekltségek: A szerzőknek nincsenek érdekltségeik.

Irodalom

- [1] Johns Hopkins University & Medicine. Coronavirus Resource Center. Available from: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html> [accessed: December 16, 2022].
- [2] Henessy M, Bann DV, Patel VA, et al. Commentary on the management of total laryngectomy patients during the COVID-19 pandemic. *Head Neck* 2020; 42: 1137–1143.
- [3] Ong SW, Tan YK, Chia PY, et al. Air, surface environmental, and personal protective equipment contamination by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) from a symptomatic patient. *JAMA* 2020; 323: 1610–1612.
- [4] Available from: https://www.atosmedical.com/wp-content/uploads/sites/2/2022/12/11284_provox-life-hme_2021-04-09_web.pdf.
- [5] Fontes D, Reyes J, Ahmed K, et al. A study of fluid dynamics and human physiology factors driving droplet dispersion from a human sneeze. *Phys Fluids (1994)* 2020; 32: 111904.
- [6] Papp E, Pusztai É, Herendi EA, et al. Treatment of patients with malignant pleural effusion in a tertiary oncology center during the COVID-19 pandemic. [Malignus pleurális effúziókkal küzdő betegek ellátása egy regionális onkológiai központban a COVID-19-pandémia időszakában.] *Orv Hetil.* 2022; 163: 1015–1022. [Hungarian]
- [7] Schmid J, Prattes J, Kaufmann-Bühler AK, et al. Sampling site matters when testing for COVID-19 after total laryngectomy: a case report. *Wien Klin Wochenschr.* 2021; 133: 416–417.
- [8] The Centers for Medicaid and Medicare Services. CMS adult elective surgery and procedures recommendations: limit all non-essential planned surgeries and procedures, including dental, until further notice. 2020. Available from: <https://www.cms.gov/files/document/covid-elective-surgery-recommendations.pdf> [accessed: December 16, 2022].
- [9] Fábíán A, Bor R, Tóth T, et al. Infection risk related to gastrointestinal endoscopic procedures during the SARS-CoV-2 pandemic. [Tápcsatornai endoszkópos eljárásokkal összefüggő infekciós kockázat a SARS-CoV-2-járvány idején.] *Orv Hetil.* 2022; 163: 1814–1822. [Hungarian]
- [10] Tang JW, Nicolle AD, Klettner CA, et al. Airflow dynamics of human jets : sneezing and breathing – potential sources of infectious aerosols. *PLoS ONE* 2013; 8: e59970.
- [11] Xu C, Nielsen PV, Liu L, et al. Human exhalation characterization with the aid of schlieren imaging technique. *Build Environ.* 2017; 112: 190–199.
- [12] Scheenstra RJ, Muller SH, Vincent A, et al. A new heat and moisture exchanger for laryngectomized patients: endotracheal temperature and humidity. *Respir Care* 2011; 56: 604–611.
- [13] Szabó Sz, Bolló B, Baranyi L, et al. Experimental and numerical investigation of turbulence features of an asymmetric air jet. [Forgásszimmetrikus szabad levegősugár turbulens jellemzőinek kísérleti és numerikus vizsgálata.] *Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok* 2019; 14: 123–139. [Hungarian]
- [14] Bagheri G, Thiede B, Hejazi B, et al. An upper bound on one-to-one exposure to infectious human respiratory particles. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2021; 118: e2110117118.
- [15] Swain ID. Why the Mask? The effectiveness of face masks in preventing the spread of respiratory infections such as COVID-19 – a home testing protocol. *J Med Eng Technol.* 2020; 44: 334–337.
- [16] Scarano A, Inchingolo F, Lorusso F. Facial skin temperature and discomfort when wearing protective face masks: thermal infrared imaging evaluation and hands moving the mask. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17: 4624.
- [17] Maurizi M, Paludetti G, Almadori G, et al. Mucociliary clearance and mucosal surface characteristics before and after total laryngectomy. *Acta Otolaryngol.* 1986; 102: 136–145.
- [18] Deniz M, Uslu C, Ogredik EA, et al. Nasal mucociliary clearance in total laryngectomized patients. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2006; 263: 1099–1104.

(Iszlai Zoltán dr.,
Miskolc, Szentpéteri kapu 72–76., 3526
e-mail: iszlaizoltan1@gmail.com)