

**Az időjárás egészségmódosító hatásainak vizsgálata
COPD-s betegek körében**

**Doktori (PhD) - értekezés
Márovics Gergely Péter**



Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola

Doktori iskola vezetője: Prof. Dr. Bogár Lajos

Programvezető: Prof. Dr. Kiss István

Témavezető: Dr. Girán János

**Pécsi Tudományegyetem
Általános Orvostudományi Kar
Orvosi Népegészségtani Intézet**

OGYDHT

Pécs, 2024

Tartalomjegyzék

Rövidítések jegyzéke	1
1. Bevezetés.....	3
1.1. Meteorológiai alapok.....	3
1.2. Meteorológiai elemek	5
1.2.1. Hőmérséklet	5
1.2.2. Légnyomás	6
1.2.3. Szél.....	6
1.2.4. Csapadékképződés	6
1.2.5. Csapadékfajták	7
1.3. Krónikus obstruktív tüdőbetegség.....	7
1.3.1. Tünetek.....	8
1.3.2. Okok és kockázati tényezők.....	8
1.3.3. Epidemiológia	8
1.3.3.1. Prevalencia	9
1.3.3.2. Incidencia	10
1.3.3.3. Mortalitás.....	10
1.3.4. Diagnosztikai kritériumok.....	11
2. Irodalmi áttekintés	12
2.1. Az időjárás és a halálozások közötti kapcsolat	12
2.2. Az időjárás és a kórházi ellátások közötti kapcsolat.....	14
2.3. Az időjárás és a COPD-vel kapcsolatos halálozás	15
2.4. Az időjárás és a COPD-vel kapcsolatos kórházi ellátások.....	16
2.5. A légköri szennyezők és az időjárási paraméterek közötti kapcsolat.....	18
3. Célkitűzések	20
4. Adatok és módszerek.....	21
4.1. Háttér.....	21
4.2. Adatok	21
4.3. Adatok előkészítése.....	22
4.3.1. Időjárási adtok.....	22
4.3.1.1. A 2010-2019 közötti klimatológiai viszonyok Pécssett.....	23
4.3.1.2. Időjárási szélsőségek	24
4.3.1.3. Az időjárás napi változásai	26
4.3.2. Betegforgalmi adatok	27
4.3.2.1. Általános betegforgalom és demográfiai jellemzők	28

4.3.2.2.A légzőrendszeri betegségekkel kapcsolatos betegforgalom és demográfiai jellemzők	29
4.3.2.3.COPD-vel kapcsolatos betegforgalom és demográfiai jellemzők	32
4.3.2.4.Nemek és korcsoportok szerinti különbségek	34
4.4. Statisztikai vizsgálat	34
5. Eredmények	36
5.1. Az időjárás szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos látogatások	36
5.1.1. Az időjárás szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos látogatások összefüggései	36
5.1.2. Az időjárás szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos látogatások összefüggéseinek rétegzett elemzése nemek és korcsoportok szerint	37
5.2. Az időjárás napi változásainak szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások	38
5.2.1. Az időjárás napi változásainak szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat	38
5.2.2. Az időjárás napi változásainak szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos látogatások közötti kapcsolatok rétegzett elemzése nemek és korcsoportok szerint	39
5.3. Az időjárás változékonyságának időbelisége, mértéke és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások	39
5.3.1. Az időjárás változékonyságának időbelisége és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat	39
5.3.2. Az időjárás változékonyságának időbelisége és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat rétegzett elemzése nemek és korcsoportok szerint	40
5.3.3. Az időjárás változékonyságának időbelisége, mértéke és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat	41
5.3.4. Az időjárás változékonyságának időbelisége, mértéke és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat rétegzett elemzése nemek és korcsoportok szerint	42
6. Megbeszélés és következtetések	44
6.1. Az időjárás szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos látogatások	44
6.2. Az időjárás szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos látogatások összefüggéseinek rétegzett elemzése nemek és korcsoportok szerint	45
6.3. Az időjárás napi változásainak szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat	46
6.4. Az időjárás napi változásainak szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos látogatások közötti kapcsolatok rétegzett elemzése nemek és korcsoportok szerint	47
6.5. Az időjárás változékonyságának időbelisége és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat	47
6.6. Az időjárás változékonyságának időbelisége, mértéke és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat	48

6.7. Következtetések	50
7. Új eredmények	52
8. Saját közlemények listája.....	53
9. Irodalomjegyzék	56
10. Köszönetnyilvánítás.....	68
11. Mellékletek.....	69

Rövidítések jegyzéke

95% CI	95%-os megbízhatósági intervallum
AECOPD	Krónikus obstruktív tüdőbetegség akut exacerbációja
AF	Járulékos kockázat (Attributable Fraction)
ASR	Age Standardized Rate
BNO-10	Betegségek Nemzetközi Osztályozásának 10. revíziója
BOLD	Burden of Obstructive Lung Diseases Study
COPD	Krónikus obstruktív tüdőbetegség
DALY	Egészségkárosodással korrigált életevek
Dp	Harmatpont
DpD	Harmatpontkülönbség
EESZT	Elektronikus Egészségügyi Szolgáltatási Tér
FEV1	Erőltetett kilégzési másodperc-térfogat
FVC	Erőltetett kilégzési vitálkapacitás
GBD	Global Burden of Disease Study
GOLD	Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease
HungaroMet	HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.
HR	Kockázati hányados (Hazard Ratio)
KSH	Központi Statisztikai Hivatal
mMRC/CAT	Modified Medical Research Council, COPD assessment test
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMSZ	Országos Meteorológiai Szolgálat
OR	Esélyhányados (Odds Ratio)
Pa	Légnyomás
PaD	Légnyomáskülönbség
Pr	Csapadékmennyiség
PrD	Csapadékmennyiség-különbség
PTE ÁOK KK	Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Klinikai Központ
PTE TTK FI	Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földrajzi és Földtudományi Intézet
Rh	Relatív páratartalom

RhD	Relatív páratartalom-különbség
RR	Relatív kockázat (Relative Risk)
SBO	Sürgősségi Betegellátó Osztály
Ta	Középhőmérséklet
TaD	Középhőmérséklet-különbség
TKT	Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék
Tmn	Minimum-hőmérséklet
TmnD	Minimumhőmérséklet-különbség
Tmx	Maximum-hőmérséklet
TmxD	Maximumhőmérséklet-különbség
Tr	Napi hőingás
TrD	Napi hőingásváltozás
VBA	Visual Basic for Applications
Ws	Szélsébség
WsD	Szélsébség-különbség
WHO	Egészségügyi Világszervezet (World Health Organization)

1. Bevezetés

A Föld éghajlata és az időjárás jelentős hatást gyakorol az emberi test biológiai funkcióira és egészségére. Napjainkban a globális klímaváltozás széleskörű hatásaival szembesülünk, aminek következtében ezek emberi egészségre gyakorolt hatásainak jelentősége is növekszik. A klímaváltozás befolyásolja az időjárást és az időjárási mintázatokat, amik közvetlen kapcsolatban lehetnek a fertőző, és a nem-fertőző betegségekkel egyaránt.

Az utóbbi 20 évben a humán biometeorológiai kutatások – melyek a meteorológiai tényezők emberi egészségre gyakorolt hatásait vizsgálja – száma ugrásszerűen megnőtt. Ezen munkák jelentős része a különböző szív- és érrendszeri betegségek és a globális klímaváltozással összefüggő hőmérséklet-emelkedés – kiemelten a hóhullámos időszakok – közötti kapcsolatrendszer vizsgálatát vizsgálta. Az e fajta vizsgálatok többnyire halálozást – azon belül is a hóhullámok által okozott többlet-halálozást – helyezte fókuszba, melyek segítettek a különböző hőakciótervek kidolgozásában Európában és világszerte egyaránt. Ugyanakkor egy másik fontos aspektus, a morbiditás, különösen a légzőrendszeri betegségekkel kapcsolatos kórházi-, vagy sürgősségi ellátások lényegesen kevesebb figyelmet kapnak.

Dolgozatomban bemutatom mit tudunk az időjárás egyes egészségmódosító hatásairól, valamint ismertetem kutatásom eredményeit, melyek fókuszában az időjárási szélsőségek, napi időjárás-változások és a krónikus obstruktív tüdőbetegséggel (COPD) kapcsolatos morbiditás állt, végül pedig összegzem a fontosabb megállapításokat és az új eredményeket.

1.1. Meteorológiai alapok

Az idő a légkör fizikai tulajdonságainak és folyamatainak adott helyen, adott időpillanatban a környezettel és egymással is kölcsönhatásban álló rendszere. Az időjárás a légkör fizikai tulajdonságainak és folyamatainak adott helyen, rövid időszak (órák, napok) során a környezettel és egymással is kölcsönhatásban álló rendszere. Az éghajlat a légkör fizikai tulajdonságainak és folyamatainak adott helyen, hosszú időszak (rendszerint évtizedek) során a környezettel és egymással is kölcsönhatásban álló rendszere [Péczy, 1979]. Dolgozatom tárgya tehát egyrészt az időjárás volt.

A Földet egy vékony gázréteg, az atmoszféra veszi körül. Az atmoszféra tömege körülbelül $5,275 \times 10^{15}$ tonna, melynek döntő többsége az alsó zónában összpontosul. Az atmoszférában nemcsak gázok, hanem folyékony és szilárd halmazállapotú anyagok is

megtalálhatók. Az atmoszférát alkotó gázokat két fő szempont szerint csoportosíthatjuk: 1. a légkörben való tartózkodási idejük; 2. valamint mennyiségük és térfogaton belüli arányuk alapján.

1. Tartózkodási idő alapján három csoportot különböztetünk meg:
 - állandó gázok: mennyiségük hosszú távon változatlan marad
 - változó gázok: tartózkodási idejük a légkörben hozzávetőlegesen 4 hónaptól 15 évig terjedhet
 - erősen változó gázok: jelenlétük a légkörben nem tart tovább 14 napnál
2. A levegőtérfogat 99,998%-át az alábbi fő összetevők alkotják:
 - nitrogén (N₂) 78,084%
 - oxigén (O₂) 20,946%
 - argon (Ar) 0,934%
 - szén-dioxid (CO₂) 0,032%
 - a légkör összetételének fennmaradó százaléktöredékét az aeroszol részecskék és a nyomgázok alkotják.

Az atmoszférában a levegő sűrűsége a magassággal gyorsan és folyamatosan csökken. A hőmérséklet ugyanakkor bizonyos magassági tartományokban csökken, más tartományokban pedig emelkedik. Ennek eredményeként a légkör a hőmérséklet változása alapján különböző rétegekre osztható fel, amelyek egymás fölött helyezkednek el és a paúzák különítik el egymástól:

1. troposzféra: az atmoszféra legsűrűbb rétege, ami a teljes légkör tömegének 75-80%-át teszi ki. Itt zajlanak le a legfontosabb időjárási jelenségek, mint például a felhő-, és csapadékképződés. A troposzférában éles hőmérsékleti változások következnek be, mivel a napsugárzás először a földfelszínt melegíti fel, ami a hőt a troposzféra alsó rétegének adja át. A hőmérséklet 100 méterenként körülbelül 0,6 °C-kal csökken felfelé haladva. Az itt kialakuló légáramlatok befolyásolják a szelet és az időjárást. A troposzféra felső rétegében kialakuló futóáramlás (jet stream) a legjelentősebb légmozgás, aminek hatására alakulnak ki anticiklonok és ciklonok, amelyek meghatározzák a mérsékelt övezet időjárását. A troposzféra nagyjából 12 km magasságig tart, és a tropopauza határolja le. A tropopauza helyzete földrajzi szélességtől, évszaktól és napszaktól függ, a jellemző hőmérséklete pedig -55 °C.
2. sztratoszféra: a sztratopauzáig, durván 85 km-es magasságig terjed. Már az alsó sztratoszférában is csaknem ezerszer ritkább a levegő, mint a tengerszinten, a

hőmérséklet a magassággal emelkedik. A levegő rétegződése stabil, ami függőleges légmozgást nem tesz lehetővé, ugyanakkor vízszintes áramlások előfordulnak. A sztratoszféra alacsony kicserélődése miatt az ott tartózkodó anyagok hosszú ideig megmaradnak, ami potenciálisan befolyásolhatja az egész Föld éghajlatát. A Nap ultraibolya sugárzásának hatására a sztratoszférában az oxigénmolekulák felbomlanak, létrehozva az ózonréteget, amely megvédi a földi életet a káros, rövid hullámhosszú sugárzástól.

3. mezoszféra: a földi légkör 50-90 km közötti rétege, felső határa a mezopauza. Ebben a rétegben ég el a meteorok nagy része. A mezoszférában a hőmérséklet a magassággal csökken, legfelső rétegeiben van a leghidegebb az egész atmoszférában, ami akár -90 °C is lehet.
4. termoszféra: a felszíntől kb. 90 km távolságban kezdődik. Alsóbb rétegeiben a hőmérséklet gyorsan növekszik. Hőmérséklete egyébként időben változó, erősen függ a Nap tevékenységétől, valamint a nappalok és éjszakák váltakozásától (200 °C különbség is előfordulhat). A felső termoszféra hőmérséklete $500-2000$ °C között ingadozik. A magas értékek azonban félrevezetőek lehetnek: mivel a légkör ebben a rétegben olyan ritka, hogy a levegő molekulái alig ütköznek egymással, hagyományos értelemben nem beszélhetünk hőmérsékletről. A termoszféra felső határa, a termopauza erősen ingadozó magasságban, $500-1000$ km között található. A hőmérsékletkülönbségek miatt a termoszféra sűrűsége is erősen változó.
5. exoszféra: a légkör legritkább, külső burka. A világűr felé tulajdonképpen nincs is határa, mert a könnyű légköri gázok (hidrogén és hélium) rendszeresen megszöknek belőle az űrbe, illetve érkeznek is onnan a napszéllel. Elméletileg mégis kb. 2000 km magasságban húzzák meg a földi légkör külső határát [Péczely, 1979].

1.2.Meteorológiai elemek

1.2.1.Hőmérséklet

Az anyagot alkotó molekulák rendszertelen és véletlenszerű mozgást, úgynevezett hőmozgást végeznek. Ennek a mozgásnak az átlagos kinetikus energiája arányos a hőmérséklettel. A hőtan egyik alapfogalma, intenzív mennyiség, ami azt jelenti, hogy két test között hőáramlással kiegyenlítődésre törekszik. A hőmérséklet egy légköri állapotjelző,

számszerű kifejezésére különböző hőmérsékleti skálák – például a Celsius-féle hőmérsékleti skála (°C) – szolgálnak [Péczeley, 1979].

1.2.2. Légnyomás

Adott terület egység fölött elhelyezkedő légoszlop nyomást gyakorol a felszínre, amit légnyomásnak nevezünk. Mivel a levegő sűrűsége fizikai hatások, elsősorban a hőmérsékletváltozás következtében változik, a levegőoszlop tömege, tehát a légnyomás sem állandó, hanem folyamatosan változik a légkörben. Ez a nyomásváltozás okozza a légkör hullámzásait, áramlásait. A légnyomás mértékegysége a hektopascal (hPa). Az átlagos légnyomás a földfelszínen 1013 hPa, ami 10 km-es magasságban a már csak 225 hPa, azaz a felszíni légnyomás nagyjából 1/5 része. A hideg levegő nehéz, tehát magas légnyomást, míg a meleg levegő könnyebb a hidegnél, így alacsony légnyomást eredményez [Péczeley, 1979].

1.2.3. Szél

A légkör állandó mozgásban van, ritka eset, amikor nincsenek vízszintes és függőleges légáramlások. A felszínen különböző áramlási és termikus okból jelenlevő vízszintes irányú nyomáskülönbségek kiegyenlítődesre törekszenek. Az így meginduló, kiegyenlítődesre törekvő tömegáramlás a szél. A szél iránya mindig a magas nyomás felől az alacsony nyomású terület felé mutat, azonban a Coriolis-erő miatt ettől az iránytól az északi féltekén jobbra, a déli balra tér el. A nyomáskülönbség és a szél erőssége egyenesen arányos, ez azt jelenti, hogy ha nagyobb a nyomáskülönbség, erősebb szél fúj. A talajfelszínnel és a tereptárgyakkal való súrlódás, valamint a hőmérsékleti különbségek miatt a légáramlás nem egyenletes, hanem lökészerű. A szélökések általában 20-40%-kal haladják meg a szél átlagsebességét [Péczeley, 1979].

1.2.4. Csapadékképződés

A víz három halmazállapotban van jelen a légkörben: légnemű halmazállapotban vízgőz formájában; folyadékállapotban az esőcseppek formájában; és szilárd halmazállapotban a jég szemek, vagy a jégtűk formájában.

A különböző halmazállapotok között halmazállapot-változások zajlanak le. A szilárd és a folyadék állapot között megy végbe az olvadás és a fagyás. A folyékony és a légnemű állapot között a párolgás és lecsapódás, a szilárd és a légnemű között a szublimáció (a jég vízgőzzé alakulása) és a depozíció (a vízgőz jégkristályokká alakulása). A halmazállapot-változások egy része energiát termel, míg másokhoz energia szükséges. Energia kell a párolgáshoz,

olvadáshoz, szublimációhoz, viszont energia szabadul fel a fagyáskor, a lecsapódáskor, illetve a depozíció során.

Egy adott levegőtér fogat a hőmérsékletétől függően különböző mennyiségű vízgőzt képes csak magába foglalni. Akkor mondjuk egy levegőtér fogatra, hogy telített, ha az adott hőmérsékleten már nem képes több vízgőzt befogadni. Minél magasabb a levegő hőmérséklete, annál több vízgőzt képes magába foglalni. Ha egy telítetlen levegőtér fogatot elkezdünk lehűteni, egy idő után elérjük a harmatpontot, azt a hőmérsékleti értéket, amelyre lehűtve a levegő telítetté válik, további hűtéskor a felesleges nedvesség folyékony víz formájában kicsapódik. Azt a maximális vízgőzmennyiséget, amelyet 1 m^3 levegő adott hőmérsékleten befogadni képes telítési abszolút nedvességnek nevezzük, mértékegysége g/m^3 . A relatív nedvesség pedig azt fejezi ki, hogy az aktuálisan jelenlevő vízgőzmennyiség hány százaléka az adott hőmérsékleten maximálisan lehetséges vízgőzmennyiségnek. A telített levegő relatív nedvessége 100% [Péczy, 1979].

1.2.5. Csapadékfajták

A csapadék cseppfolyós vagy szilárd halmazállapotú víz, amely a légkörből (többnyire felhőkből) hullik a talajra vagy vízfelületre. Nem csapadék a felhő, a köd, a harmat, a dér, a zúzmara, mert ezek nem hullanak. Csapadék viszont a ködszítálás és a hulló jégtű. A csapadék mennyisége az a vízréteg vastagság, amely a teljesen sima és vízszintes talajfelszínen alakulna ki a csapadékhullás után, zérusnak tekintve az elfolyásból, (be)szivárgásból és párolgásból adódó veszteségeket. Ha 1 m^2 területre 1 mm csapadék hullik, akkor annak a térfogata 1 dm^3 , vagyis 1 liter folyadékról van szó. Ha a csapadék szilárd halmazállapotú (pl. hó), akkor annak felolvasztással megkaphatjuk a vízegyenértékét. Körülbelül 10 liter hó felel meg 1 liter víznek, a hó és a víz aránya tehát 10:1-hez [Péczy, 1979].

1.3. Krónikus obstruktív tüdőbetegség

A krónikus obstruktív tüdőbetegség (COPD) egy heterogén tüdőbetegség, melyet a légutak (bronchitis, bronchiolitis) és/vagy a léghólyagocskák (alveolusok) tartós, gyakran progresszív légáramlási akadályozását (obstrukciót) okozó rendellenességei miatt kialakuló krónikus légúti tünetek jellemeznék [GOLD Report, 2023].

1.3.1. Tünetek

A COPD-s betegek jellemzően nehézlégzésre, ziháló légzésre, mellkasi szorító érzésre, fáradékonyságra, korlátozott aktivitásra és köpettermeléssel vagy anélkül járó köhögésre panaszkodnak. Előfordulhatnak olyan akut események, amelyeket fokozott légúti tünetek jellemeznek, – ezek az úgynevezett exacerbációk – amelyek befolyásolják egészségi állapotukat és speciális megelőző és terápiás intézkedéseket igényelnek. A COPD-ben szenvedő betegeknél gyakran más társbetegségek is előfordulnak, amelyek szintén befolyásolják klinikai állapotukat és prognózisukat, és speciális kezelést igényelnek. Ezek a társbetegségek súlyosbíthatják az akut exacerbációt.

1.3.2. Okok és kockázati tényezők

A COPD kialakulásának legfőbb kockázati tényezője kétségtelenül a dohányzás. A dohányfüstben található anyagok súlyos károkat okoznak a tüdőben és a légutakban. A dohányzás krónikus gyulladást idéz elő a légutak falában, ami fokozatosan elzárja az alveolusokat és pusztítja a szöveteket, ez pedig légzési nehézségekhez, köhögéshez és fokozott nyáktermeléshez vezet. A dohányzás a COPD súlyosságát is befolyásolja, körükben gyakrabban fordulnak elő akut exacerbációk, kórházi kezelések és korai halálozások.

Fontos kockázati tényező a háztartási és kültéri légszennyezésből származó részecskék és gázok is, melyek főként a fejlődő országok népességét érinti [GOLD Report, 2023]. A háztartási légszennyezés forrása lehet a főzéshez vagy fűtéshez használt tüzelőanyag, illetve a belső terekben használt kémiai anyagok. A kültéri légszennyezés forrása lehet a közlekedés, az ipari tevékenység, a mezőgazdaság és a tüzelőanyag-égetés. A finom porok, – mint például a PM_{2,5}, PM₁₀ – a nitrogén-dioxid és az ózon, gyulladást okoznak a légutakban, súlyosbítják a már meglévő légúti betegségeket, és növelik a COPD kialakulásának kockázatát.

Ezen fő expozíciók mellett érdemes megemlíteni, hogy bizonyos foglalkozásokban dolgozó emberek – mint a bányászat, a mezőgazdasági munkák, az építőipar – körében magasabb lehet a COPD kialakulásának kockázata. Természetesen a korábbi légúti fertőzések – például tüdőgyulladás – növelhetik a későbbi életszakaszban kialakuló COPD kockázatát.

1.3.3. Epidemiológia

A COPD világszerte a megbetegedések és a halálozás egyik vezető oka, amely jelentős gazdasági és társadalmi terhet jelent. A COPD előfordulási gyakorisága, megbetegedési és halálozási aránya országonként eltérő. A betegség előfordulása gyakran közvetlenül összefügg

a dohányzás gyakoriságával. A COPD prevalenciája és terhe az előrejelzések szerint az elkövetkező évtizedekben növekedni fog, ami a COPD kockázati tényezőinek való folyamatos kitettség és a világ népességének előregedése kombinációjának köszönhető [WHO, 2019].

1.3.3.1. Prevalencia

2019-ben világszerte több mint 200 millió beteget érintett a betegség. A COPD előfordulási gyakorisága jelentősen, 40%-kal nőtt az elmúlt évtizedekben: az 1990-es 115 millióról 2010-re 175 millióra, majd 2010 és 2019 között 13%-kal nőtt a COPD prevalenciája. Az egészségkárosodással korrigált életévek (DALY) száma mintegy 75 millió volt 2019-ben, ami 10%-os növekedést jelent 2010 óta. A prevalenciára vonatkozó életkor szerinti standardizált rátája (ASR) 5,8%-kal csökkent a 2005-2019 közötti időszakban [GBD, 2019]. Magyarországon a COPD prevalenciája elérte a 195 057 esetet, ami 24,4%-os növekedést jelent 2010 és 2019 között [KSH, 2020], ugyanakkor a 2022-es adatok szerint jelenleg 185 226 ember él Magyarországon COPD-vel, ami szakértők szerint a valós feltételezett hazai esetszámok alatt van [Korányi Bulletin, 2023].

Ugyanakkor a meglévő COPD prevalencia adatok nagymértékben eltérhetnek egymástól a felmérési módszerek, a diagnosztikai kritériumok és az analitikai megközelítések közötti különbségek miatt. Megjegyzendő, hogy az összes ilyen epidemiológiai tanulmány a COPD-t kizárólag a spirometria alapján, nem pedig a tünetek és a spirometria kombinációja alapján határozta meg. A prevalenciára vonatkozó legalacsonyabb becslések azok, amelyek a COPD vagy azzal egyenértékű állapot orvosi diagnózisának önbevallásán alapulnak, ami valószínűleg a COPD széles körű aluldiagnosztizálását tükrözi. Napjainkban már megjelentek olyan adatok, jelentések, amelyek pontosabb becsléseket tesznek lehetővé a COPD előfordulási gyakoriságáról. Számos szisztematikus áttekintés és metaanalízis bizonyítja, hogy a COPD prevalenciája a dohányosok és volt dohányosok körében jelentősen magasabb a nemdohányzókhoz képest, valamint a 40 évnél idősebbek körében a 40 évnél fiatalabbakhoz képest, illetve a férfiak körében a nőkhöz képest. A Burden of Obstructive Lung Diseases Study (BOLD) standardizált módszertant használ, amely kérdőívekből, valamint pre-, és postbronchodilatációs spirometriából állt a COPD prevalenciájának és kockázatának globális felmérésére a legalább 40 évesek körében. A BOLD a férfiak esetében a COPD prevalenciáját 11,8%-ra, nők esetében 8,5%-ra teszi, és jelentős, 3-11%-os prevalenciát becsült a soha nem dohányzók körében. A BOLD és más epidemiológiai tanulmányok alapján a COPD globális prevalenciáját 10,3%-ra becsülik [GOLD Reports, 2023].

1.3.3.2.Incidencia

2019-ben világszerte több, mint 16 millió új COPD esetet diagnosztizáltak. Ahogyan a prevalencia, úgy az incidencia esetében is jelentős növekedés látható: az 1990-es kevesebb, mint 9 millióról 2010-re 13 millióra (35%-os növekedés), majd 2010 és 2019 között 19%-kal nőtt évente az új COPD esetek száma [GBD Results, 2019]. Magyarországon 2022-ben több, mint 11 ezer új esetet regisztráltak, ami nagyjából megfelel a 2015-2019 között tapasztalt incidenciáknak [Korányi Bulletin, 2023]. Mind világviszonylatban [GBD Results, 2019], mind pedig Magyarország esetében férfi túlsúly figyelhető meg az éves új esetek számában [Korányi Bulletin, 2023]. A nemzetközi adatokat tartalmazó adatbázisokból kiderül, hogy lényegesen több 70 évnél fiatalabb embert diagnosztizálnak COPD-vel évente, mint 70 évnél idősebbet, valamint, hogy a férfi többlet markánsabban körvonalazódik a 70 évnél fiatalabbak körében [GBD Results, 2019].

1.3.3.3.Mortalitás

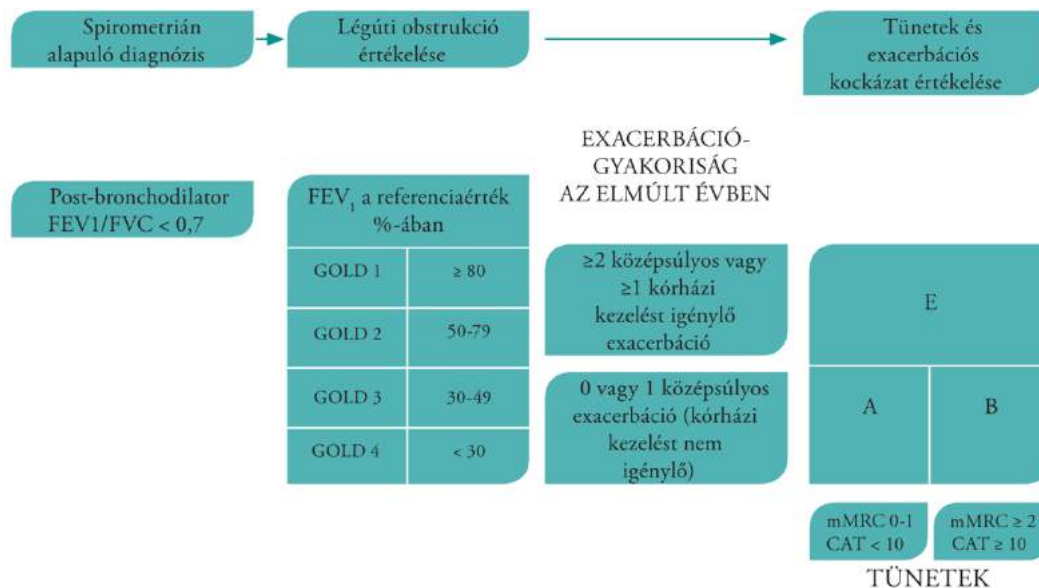
Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) szerint 2019-ben több, mint 3 millió haláleset volt a COPD-nek tulajdonítható. 1990-ben még csak a hatodik, 2010-ben már a harmadik vezető haláloknak számított, amely pozíciót azóta is tartja. Magyarországon a betegség 2019-ben több, mint 4000 halálesetet okozott, ami 10%-os növekedést tükröz 2012-höz képest, és a haláloki rangsorban a hatodik helyre pozícionálta a COPD-t [KSH, 2020]. 2060-ra a becslések szerint a fejlődő országokban a dohányzás növekvő prevalenciája, párosulva a fejlett országok népességének elöregedésével évente több mint 5,4 millió COPD és hozzá kapcsolódó betegség által okozott halálesetet eredményezhet [WHO, 2019].

Ugyanakkor ezeket az adatokat érdemes körültekintően kezelni. A COPD aluldiagnosztizálása csökkenti a halálozási adatok pontosságát, továbbá az egészségügyi adminisztratív adatbázisokban rögzített COPD diagnóziskódok pontossága is bizonytalan. Részben ezen tények következtében a COPD-vel kapcsolatos betegségteher alulbecsült lehet. A COPD-vel kapcsolatos halálozási statisztikák megbízhatósága szintén problémás. Bár a COPD gyakran lehet elsődleges halálozási ok, nagyobb valószínűséggel szerepel a halálozás járulékos okaként, vagy teljesen kimarad a halotti bizonyítványból. A COPD-vel kapcsolatos halálozás növekedését elsősorban a dohányzás elterjedése, az egyéb gyakori halálozási okok (pl. ischaemiás szívbetegség, fertőző betegségek) okozta halálozás csökkenése, a világ népességének öregedése, – különösen a magas jövedelmű országokban – valamint a hatékony terápiák szükségessége okozta [GOLD Reports, 2023].

1.3.4. Diagnosztikai kritériumok

A jelenleg használt klinikai diagnózist légzésfunkciós vizsgálattal (spirometria) állítják fel, amihez jellemzően két tényezőt vizsgálnak: az erőltetett kilégzési másodperc-térfogat (FEV1) megmutatja, hogy mekkora az a levegőmennyiség, amit az egyén mély belégzés után maximális erővel ki tud fújni az első másodpercben; az erőltetett kilégzési vitálkapacitás (FVC) megmutatja, hogy mekkora az a levegőmennyiség (literben), amit az egyén mély belégzés után maximális erővel ki tud fújni. Abban az esetben, amikor a légutak tágulása (bronchodilatáció) utáni FEV1-FVC hányados kisebb, mint 0,7, a légáramlás tartós korlátozottságáról beszélhetünk. A FEV1 alapján határozzák meg a COPD stádiumait, melyet négy osztályba sorolnak: GOLD1: $FEV_1 \geq 80\%$, ami enyhe légúti szűkületet jelent; GOLD2: $50\% \leq FEV_1 < 80\%$, ami közepes légúti szűkületre utal; GOLD3: $30\% \leq FEV_1 < 50\%$, súlyos légúti szűkület; végül pedig a GOLD4: $FEV_1 < 30\%$, nagyon súlyos légúti szűkületet jelent [GOLD Reports, 2022].

A GOLD irányelv szerint a FEV1-csökkenés mellett az akut exacerbációk jelentkezésének gyakoriságát, valamint a Modified Medical Research Council, COPD assessment test (mMRC/CAT) kérdőív eredményét is figyelembe kell venni. Ezen kiterjesztett szempontrendszer alapján három csoportot (A, B, E) határoztak meg (1. ábra) [Korányi Bulletin, 2023].



1. ábra. COPD súlyossági besorolás. Korányi Bulletin, 2023., a GOLD Reports 2023 alapján.

2. Irodalmi áttekintés

Dolgozatom minél átfogóbb áttekintése és megértése érdekében ebben a fejezetben összefoglalom a jelenlegi szakirodalom eredményeit és következtetéseit, amelyek valamilyen módon az időjárás és a mortalitás, valamint a morbiditás közötti kapcsolatokat vizsgálták. Továbbá kísérletet teszek arra, hogy bemutassam, mit tudunk ma, 2024-ben erről a bonyolult kapcsolatrendszeréről, különösen a COPD esetében.

2.1. Az időjárás és a halálozások közötti kapcsolat

Egy átfogó, több országra kiterjedő vizsgálat eredményei szerint a hőhullámok és a halálozás közötti összefüggés bizonyított, a hőmérséklet hatása akut módon jelentkezik, ami jellemzően 3-4 napig tart. A halálozás mértékét a hőhullámok intenzitása befolyásolja, az időtartama azonban nem. Megállapították továbbá azt is, hogy a mérsékelt hideg és mérsékelt meleg területeken a hőhullámok és a halálozás kapcsolata erősebb [Guo és mtsai., 2017]. Németországban elemzések bizonyították, hogy a hőmérséklet determinisztikus hatást gyakorol halálozásra. A dózis-hatás görbékből kiderült, hogy a relatív halálozás minden esetben emelkedett a heti középhőmérséklet minden egyes küszöbérték feletti növekedésével [an der Heiden és mtsai., 2020]. Egy, a dél-ázsiai régiót vizsgáló metaanalízis eredményei szignifikáns összefüggést mutattak ki a hőmérséklet emelkedése és a halálozás tekintetében: 31 °C felett 0-1 napos késéssel következett be a legtöbb napi haláleset [Dimitrova és mtsai., 2021]. A hőmérséklet ezen hatási különböző földrajzi környezetben és minden jövedelemszintű országban jelentkeznek, egyes lokációkon a halálozás kockázata a magas hőmérséklet 1°C-os emelkedésével 1-3%-kal nő [Hajat és Kosatky, 2010]. Bizonyították azt is, hogy a szélsőségesen magas hőmérséklet és a hőhullámok megemelik a halálozási kockázatot a szív-, és érrendszeri és légzőszervi betegségekben szenvedő betegek, valamint az idősek körében [Cheng és mtsai., 2019b]. Egy 9 európai várost vizsgáló kutatás eredményei arról számoltak be, hogy a 2003-mas európai hőhullám után az érzékeny populációkat (jellemzően a 75+ éves korcsoport) célzó preventív intézkedéseknek köszönhetően a legtöbb városban csökkent a kardiovaszkuláris mortalitás, míg a légzőrendszeri betegségekhez köthető halálozások tekintetében jelentős, 6% körüli csökkenést figyeltek meg Valenciában, Barcelonában és Budapesten [de'Donato és mtsai., 2014]. Egy korábbi magyar kutatás megerősítette, hogy Budapesten a napi halálozás és a hőmérséklet közötti összefüggés U-alakot vesz fel és

legmagasabb kockázat a szív- és érrendszeri, illetve a légzőszervi halálozás esetében mutatható ki [Páldy és mtsai., 2005].

Ebből az U-alakú (más földrajzi helyeken fordított J-alakú) görbéből következik, hogy nem csak a hőség, de hideg időszakok is megemelik a halálozások kockázatát. Egy 13 ország adatait vizsgáló tanulmány azt állapította meg, hogy a hideggel összefüggő halálesetek aránya magasabb (7,29%, 95%CI [7,02%-7,49%]), mint a hőséggel összefüggő halálozások száma (0,42%, 95%CI [0,39%-0,44%]) [Gasparrini és mtsai., 2015]. Hasonló eredményekről számolt be egy 18 francia város adatait vizsgáló tanulmány, eredményeik szerint 2000 és 2010 között az összes halálozás 3,9%-át (95%CI [3,2%- 4,6%]) a hideg, míg 1,2%-át (95%CI [3,2%- 4,6%]) a hőség okozta [Pascal és mtsai., 2018]. Japán mind a 47 prefektúrájának halálozását vizsgáló tanulmány arról számolt be, hogy amikor legalább két egymást követő napon a napi középhőmérséklet alacsonyabb volt, mint a hideg évszak prefektúra-specifikus 5. percentilis alatti napi középhőmérséklete az 1972-2015 közötti időszakban, a halálozási ráta szignifikánsan magasabb (11% az esemény bekövetkeztekor) volt [Ma és mtsai., 2021]. Kínában, egy országos kutatás eredményei azt mutatták, hogy abban az esetben, amikor a város-specifikus napi középhőmérséklet az 5. percentilisével alacsonyabb és az időtartam legalább 4 egymást követő napon fennállt, a relatív kockázat 1,39 (95%CI [1,15-1,69]) volt a nem baleseti halálozás tekintetében [Lei és mtsai., 2022]. Bulgáriában arról számoltak be, hogy a hideg hőmérséklet nagyobb hatással volt a mortalitásra, mint a meleg hőmérséklet. A hőmérséklethez köthető halálozás legnagyobb részét a mérsékelt hideg okozta (10,9%, 95%CI [5,8%-15,6%]), ezt követte a mérsékelt meleg, az extrém hideg és az extrém meleg [Petkova és mtsai., 2021]. Egy chicagói tanulmány megállapította, hogy a magas halálozási aránnyal jellemezhető napokat az adott régió felett 2-5 nappal korábban kialakult szokatlanul hideg időjárás előzi meg, és a halálozási csúcs előtt 1-2 nappal az átlagosnál jelentősen magasabb a légnyomás [Allen és mtsai., 2014]. 272 kínai város adatait vizsgálva kutatók megerősítették a hőmérséklet és a nem baleseti eredetű összhalálozás közötti kapcsolatot, eredményeik pedig fordított J-alakú összefüggést állapítottak meg. A tanulmányban leírták, hogy a nem baleseti eredetű összhalálozás 14,33%-a volt a nem optimális hőmérsékletnek tulajdonítható, melyből a szív-, és érrendszeri betegségekkel kapcsolatos halálozás 17,48%-kal, a légzőrendszeri betegségekkel kapcsolatos halálozás 10,57%-kal részesült [Chen és mtsai., 2018].

2.2. Az időjárás és a kórházi ellátások közötti kapcsolat

Egy 40 kutatás eredményeit áttekintő tanulmány megállapította, hogy a hőmérséklet és a teljes, illetve ok-specifikus kórházi ellátások között szignifikáns kapcsolat fedezhető fel. A nemlineáris késleltetett hatások iránya és nagysága azonban nem volt egyértelmű [Ye és mtsai., 2012]. Hasonlóról következtetéseket vont le egy másik szakirodalmi áttekintés is, melyben az áttekintett tanulmányok vizsgálata során kiderült, hogy a hőhullámok rövid távú negatív hatást gyakorolnak a kórházi ellátásokra, különösen a krónikus betegségekben szenvedők esetében nőtt meg az orvosi ellátás iránti igény ezekben az időszakokban [Li és mtsai., 2015]. Egy Rhode-Island-i (USA) tanulmány eredményei azt mutatták, hogy az összes sürgősségi ellátás 1,3%-kal, a hőséggel összefüggő sürgősségi ellátások 23,9%-kal növekedtek, amikor a napi maximális hőmérséklet elérte a 85 °F-et (29,4 °C). Megállapították továbbá azt is, hogy az összefüggés az összes sürgősségi ellátás tekintetében a 18-65 évesek körében volt a legjelentősebb, míg a hőséggel összefüggő sürgősségi ellátások a 18-64 korcsoportot érintették erőteljesebben [Kingsley és mtsai., 2016]. Egy új-angliai kutatás becslései szerint azokon a napokon, amikor a hőindex (HI) legalább 95 °F (35 °C), akkor éves átlagban a sürgősségi ellátások többlete 784 (95%CI [658-908]) [Wellenius és mtsai., 2017]. Több vizsgálat is megállapította, hogy a magas hőmérséklet a szív-, és érrendszeri, valamint a légzőrendszeri betegségekkel kapcsolatos kórházi felvételek növekedésének kockázati tényezője [Liang és mtsai., 2008; Liang és mtsai., 2009]. Egy 12 európai város adatait vizsgáló tanulmány kimutatta, hogy a légzőrendszeri betegségekkel kapcsolatos kórházi ellátások száma a magas hőmérséklet (T_{mx} 90. percentilis) hatására a legtöbb vizsgált városban emelkedést mutatott, amikor minden korcsoportot figyelembe vettek. Kivételt képzett ez alól Budapest (-1,4%, 95%CI [-4,4%-1,6%]), Ljubljana (-0,2%, 95%CI [-6,8%-6,9%]) és Valencia (-0,7%, 95%CI [-5,2%-3,9%]). Amikor a 65-74 éves és 75+ korcsoportokat vizsgálták, csupán Budapesten (-0,3% és -0,6%) és Torinóban (-2,4% és -0,4%) mutattak ki csökkenő légzőrendszeri esetszámokat [Michelozzi és mtsai., 2009]. Egy pekingi kutatás eredményei alapján elmondható, hogy a hőhullámos időszakok (kiváltképp extrém mértékű hőség) alkalmával a légzőrendszeri betegségekkel kapcsolatos sürgősségi ellátások relatív kockázata akár 1,932 (95%CI [1,461-2,554]) is lehet [Song és mtsai., 2018].

Tanulmányok kimutatták, hogy bizonyos földrajzi régiókban a rendkívül alacsony hőmérsékleti viszonyok növelhetik a sürgősségi osztályra történő felvételek számát [Ma és mtsai., 2019]. Katalóniában arról számoltak be, hogy a hideg időszakokban a kórházi ellátások száma 12%-kal magasabb (95%CI [10%-30%]) a kontroll időszakokhoz képest [Ponjoan és

mtsai., 2017]. Egy virginiai (USA) kutatás eredményei alapján késleltetett hatás is felfedezhető: egy hideg eseményt követő 2-5 napban 4%-kal nőtt az sürgősségi látogatások száma [Davis és mtsai., 2020]. A 2012-es olaszországi hideghullám alatt a szív-, és érrendszeri betegségekkel kapcsolatos sürgősségi ellátások száma 9%-kal, míg a légzőrendszeri betegségek miatti sürgősségi ellátások száma 23%-kal nőtt [de'Donato és mtsai., 2013]. Egy mateanalízis megállapította, hogy a vizsgált tanulmányok eredményei alapján a hideg időjárással összefüggő okozta szív-, és érrendszeri megbetegedésekkel kapcsolatos kórházi ellátások száma a fiatalok és a középkorúak (RR=1,009, 95%CI [1,004-1,015]), valamint az idősek (RR=1,013, 95%CI [1,007-1,018]) körében is nőtt [Song és mtsai., 2017]. Az időjárás paraméterek és a kórházi felvételek közötti összefüggés bizonyított, és ez a kapcsolat a légzőszervi megbetegedések esetében erősebbnek tűnik [Giamello és mtsai., 2022]. Erre a megállapításra jutott egy másik tanulmány is, eredményeik bizonyítják, hogy a rendkívül alacsony hőmérséklet jelentősen növeli a légzőszervi tünetekkel összefüggő sürgősségi osztályos látogatások kockázatát [Feng és mtsai., 2021]. Egy sanghaji kutatás eredményei alapján elmondható, hogy a tartós hideg 32%-kal (95%CI [24%-40%]) növelte a légzőrendszeri betegségekkel kapcsolatos kórházi felvételek számát [Ma és mtsai., 2011]. Dél-Koreában a hideg időszakok hatására a légzőrendszeri betegségekkel kapcsolatos (tüdőgyulladás, hörghurut, COPD, asztma és tüdőgyulladás) kórházi ellátások száma 53,6%-kal (95%CI [9,8%-114,9%]) nőtt a vizsgált 5 éves időszakban [Son és mtsai., 2014]. A FINRISK felmérés (1997, 2002, 2007, 2012, majd után követés 2015-ig) adatai alapján a hideg megemeli a kockázatát a légzőrendszeri betegségekkel kapcsolatos kórházi ellátásoknak (HR=1,22, 95%CI [1,07-1,40]) [Ikäheimo és mtsai., 2020]. Egy másik finn kutatás szerint a téli alacsony hőmérséklet növeli a szívinfarktus és a légzőrendszeri betegségek miatti akut kórházi ellátás szükségességét. Ugyanakkor megállapították, hogy télen a hőmérséklet minden 1 °C-os csökkenése a légzőrendszeri betegségek miatti kórházi felvétel megnövekedett kockázata (RR=1,012, CI 95% [1,002-1,022]) csak a 75 évnél idősebb korcsoportban volt megfigyelhető [Sohail és mtsai., 2023].

2.3. Az időjárás és a COPD-vel kapcsolatos halálozás

A 2.2. fejezetben tárgyaltak már sejtetik, hogy a COPD-vel, mint az egyik legjelentősebb krónikus légzőrendszeri betegséggel is foglalkozni kell. Ehhez a betegséghez kapcsolódó halálozás egyértelmű szezonalitást mutat, méghozzá szignifikánsan magasabb mortalitási számokkal jellemezhető a téli hónapokban [Donaldson és Wedzicha, 2014]. A Global Burden of Disease Study 2019 (GBD, 2019) szisztematikus elemzése szignifikáns összefüggést

mutatott ki a nem optimális hőmérséklet és a COPD mortalitási kockázatának növekedése között. Ez a teher magasabb volt a férfiak körében, és az életkorral nőtt [Zou és mtsai., 2022]. Egy multicentrikus kínai vizsgálat eredményei bizonyítják, hogy a hidegbetörések növelik a COPD halálozás kockázatát (RR=1,88, 95%CI [1,58-2,19]) [Chen J. és mtsai., 2019]. Hasonló eredményekről számolt be egy másik kínai kutatás, amiben a szerzők megállapították, hogy a hőmérséklet és a COPD-vel kapcsolatos mortalitás közötti kapcsolat fordított J-alakú görbével jellemezhető, valamint, hogy a szélsőségesen hideg időszakok 92%-kal (95%CI [41%-162%]) növelik a COPD halálozás kockázatát [Ma és mtsai., 2020]. Kínai eredmények alapján megállapítható, hogy a napi középhőmérséklet alacsony tartományai (<2,5 percentilis legalább 2 napig) kockázati tényezőnek tekinthető a COPD halálozás szempontjából (2,01, 95%CI [1,05-3,58]) [Lei és mtsai., 2022]. Csiangszu tartomány (Kína) 11 városában azonosították a hideghullámokat, mint szignifikáns kockázati tényezőt a COPD mortalitás szempontjából, ami akár 53%-178%-kal növelheti a halálozás kockázatát [Hu és mtsai., 2023]. Ezeket az eredményeket egy Csinanban végzett kutatás is megerősíti, ugyanakkor alacsonyabb kockázatról számoltak be (27%, 95%CI [16%-38%]) [Han és mtsai., 2017].

2.4. Az időjárás és a COPD-vel kapcsolatos kórházi ellátások

Angliában hét év adatai alapján megállapították, hogy a hideg időjárás és a COPD-vel kapcsolatos ellátások negatívan korrelálnak egymáshoz ($p < 0,001$) [Marno és mtsai., 2006]. Egy korábbi elemzés szerint a COPD-s betegek kórházi felvétele télen gyakoribbnak bizonyult [Donaldson és Wedzicha, 2014]. Ugyanezekre a következtetésekre jutott egy populációs vizsgálat is, amelyben a COPD miatt történt kórházi felvételek legnagyobb számát (37,2%) a téli hónapokban figyelték meg, ezt követte az ősz, a tavasz és a nyár [Almagro és mtsai., 2015]. Egy német tanulmány arról számolt be, hogy a COPD exacerbációja miatt télen kórházba került betegek szignifikánsan idősebbek voltak, mint a nyáron kórházba került betegek ($p = 0,04$) [Hoffmann és mtsai., 2018]. A szélsőségesen hideg és meleg hőmérséklet szintén összefüggésbe hozható volt a megnövekedett COPD morbiditással [Hansel és mtsai., 2016]. A bizonyítékok azt mutatják, hogy a COPD-vel kapcsolatos kórházi látogatások kumulatív relatív kockázata 1,06 volt a meleg évszakban (30 °C összehasonlítva 25 °C-os hőmérséklettel) és 1,64 a hideg évszakban (12 °C összehasonlítva 21 °C-os hőmérséklettel) [Lam és mtsai., 2018]. Egy Tajvanon készült jelentés szerint negatív összefüggés volt tapasztalható a napi átlaghőmérséklet és a COPD miatti sürgősségi felvételek között [Liang és mtsai., 2009]. Egy kínai multicentrikus vizsgálat megállapította, hogy az alacsony hőmérséklet a COPD-s betegeknél súlyosabb

betegségterhet eredményezett, mint a magas hőmérséklet (AF=8,19-28,98 és AF=0,02-5,73) [Luan és mtsai., 2019]. Egy 168 COPD-s beteg bevonásával végzett vizsgálat megállapította, hogy 40 és 50 °F (4,4 és 10 °C) közötti hőmérsékleti körülmények 95%-kal növelik az exacerbációk esélyét a 40 °F (4,4 °C) alatti hőmérsékleti körülményekhez képest [Sama és mtsai., 2017]. Egy Kínában végzett vizsgálat megállapította, hogy a 65 évnél fiatalabb, COPD akut exacerbációjában (AECOPD) szenvedő betegek nagyobb valószínűséggel érintette a magas környezeti hőmérséklet. Ezzel szemben a 65 éves, vagy idősebb korcsoportban az AECOPD-s betegek érzékenyebbnak bizonyultak az alacsony környezeti hőmérsékletre [Shen és mtsai., 2021].

A jelenlegi bizonyítékok arra utalnak, hogy a napi hőingás és a napi hőmérséklet-változás is kockázatot jelenthet mind a COPD morbiditására, mind a mortalitásra nézve. Egy kínai vizsgálat eredményei szerint a napi hőingás 4 napos mozgóátlagának minden egyes Celsius-fokos emelkedése a COPD mortalitásának 1,25%-os növekedését jelezte [Song és mtsai., 2008]. Hangcsou (Kína) városában három év adatai alapján megállapították, hogy a szélsőségesen magas napi hőingás 4,5%-46%-kal is növelheti a COPD-vel kapcsolatos halálozás esélyét, attól függően, hogy hány nap telt el az időjárási esemény bekövetkezése óta (0 nap összehasonlítva 0-7 nappal) [Gu és mtsai., 2022]. Bizonyítékok arra engednek következtetni, hogy a meleg évszakban az alacsony, míg a hideg évszakban a magas napi hőingás befolyásolja jobban a krónikus tüdőbetegségek miatti kórházi ellátások számát [Wang és mtsai., 2020]. Erről számoltak be egy másik tanulmányban is, hozzátevé, hogy a 65 évnél idősebbek (RR=1,048, 95%CI [1,029-1,066]) és a nők (RR=1,051, 95%CI [1,033-1,069]) körében is télen tapasztalták a legmagasabb relatív kockázatot a napi hőingás COPD morbiditására gyakorolt hatásában [Ma és mtsai., 2018].

A harmatpont és a COPD-morbiditás közötti kapcsolatra vonatkozóan korlátozott számú bizonyíték áll rendelkezésre. Egy lengyelországi tanulmány azonban kimutatta, hogy a rendkívül alacsony harmatpont növelheti a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi osztályos látogatások számát ($r=0,589$, $p<0,01$) [Brzezińska-Pawłowska és mtsai., 2016]. Ezen kívül korábbi munkám során vizsgáltam ezeket a kapcsolatokat, az eredmények pedig azt mutatták, hogy a szélsőségesen alacsony harmatpont 79,5%-kal növeli az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások számát [Márovics és mtsai., 2022].

2.5.A léghőri szennyezők és az időjárás paraméterek közötti kapcsolat

Dolgozatomban megvizsgáltam, hogy a léghőri szennyezők és az időjárás tényezők – illetve azok változásai – között kimutatható-e kapcsolat.

Már a hatvanas-hetvenes évekből találunk olyan tanulmányokat, melyek az időjárás változók és a léghőri szennyezők közötti kapcsolatot vizsgálták. Egy szisztematikus áttekintésben összefoglalt eredmények azt mutatták, hogy az időjárás egészségre gyakorolt hatására vonatkozó bizonyítékok ugyanolyan megbízhatónak tünnek, mint a légszennyezés egészségre gyakorolt hatására vonatkozó bizonyítékok [Goldstein, 1972]. Egy svéd tanulmány kimutatta, hogy a levegőszennyezés koncentrációjának, illetve depozíciójának évenkénti változásának nagy része megmagyarázható az időjárás körülmények évenkénti változásával, valamint, hogy a szennyezőanyag-anomáliák összefüggést mutatnak a szélsőesség-anomáliákkal [Pleijel és mtsai., 2016]. Rómában bizonyították, hogy a nagy szélsőesség a legtöbb szennyezőanyag-koncentráció esetében növeli azok szóródást a léghőriben [Battista és de Lieto Vollaro, 2017]. Egy globális tanulmány megállapította, hogy szoros kapcsolat figyelhető meg a magas ózon-, illetve a PM_{2,5} koncentráció és a szélsőséges (maximum) hőmérséklettel, illetve (minimum) relatív páratartalommal [Zhang és mtsai., 2017]. Napjainkban, amikor a gépi-, és mélytanulás módszerei széles körben elérhetővé váltak, időjárás adatok alapján meg lehet jósolni a különböző léghőri szennyezők koncentrációjának mértékét. Egy ausztrál kutatás bizonyította, hogy 1. a léghőri ózon koncentráció $R^2 \geq 0,8$ értékkel előre jelezhető, mind a normál, mind pedig szélsőséges időjárás körülmények esetén, kizárólag a hőmérséklet és a relatív páratartalom alapján; 2. a hőmérséklet és a relatív páratartalom mellett további bemeneti változók (pl. szél és napsugárzás) modellhez adása csak a NO_x koncentráció előrejelzése esetében finomít az eredményen; 3. míg az NO₂ és az O₃ előrejelzési teljesítménye hasonló mind standard, mind nem standard körülmények között, az NO, a PM_{2,5} és a PM₁₀ előrejelzése sokkal nehezebb szélsőséges események esetén; 4. PM₁₀ egyetlen meteorológiai bemeneti kombináció és egyetlen forgatókönyv esetén sem jósolható pontosan, különösen, ha az antropogén források jelentős anomáliái jelen vannak [Ulpiani és mtsai., 2022]. Kínában az óránkénti meteorológiai előrejelzési adatok (hőmérséklet, relatív páratartalom, szélsőesség, szélirány) felhasználásával olyan mélytanuláson alapuló modellt készítettek, amely a 115 µg/m³-os PM_{2,5} küszöbértéket 20 µg/m³-os tőrés határral 97,32%-os pontossággal képes megjósolni [Feng és mtsai., 2015].

A bemutatott szakirodalom alapján megállapítható, hogy a meteorológiai paraméterek hatással vannak légköri szennyezők koncentrációjára, ezért elemzéseimet nem súlyoztam ezen komponensek koncentrációjával.

3. Célkitűzések

A 2., de kiváltképp a 2.4. fejezetben leírtak ismeretében kutatásom során a következő aspektusok vizsgálatát tűztem ki célul:

- Milyen hatást gyakorolnak szélsőséges időjárási körülmények a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatásokra?
- Felfedezhető-e valamilyen kapcsolat az időjárás napi változékonysága és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások között?
- Amennyiben igen, választ adni arra a kérdésre, hogy ezen aspektusban a jelentős mértékű változások, vagy esetleg a stabilnak mondható körülmények kockázatosabbak a COPD-s betegek számára.
- Ezzel párhuzamosan meghatározni, hogy az adott időszakok hossza hatással van-e a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi megjelenésekre.

Ezen kérdések megválaszolása kulcsfontosságú, hogy jobban megértsük a COPD-vel diagnosztizált emberek számára kockázatos környezeti tényezőket. Ugyanakkor önmagukban ezen eredmények nem sokat mondanak arról, hogy a kockázatnak kitett COPD-s populációban kik azok, akik a legsebezhetőbbek. Ezért célom volt továbbá az is, hogy:

- Korcsoportokra és nemekre rétegezve elvégezzem a vizsgálatot, hogy az időjárási körülmények szempontjából különösen érzékeny csoportokat azonosíthassak.
- Az eredmények segítségével felhívjam a sürgősségi osztályokon dolgozók figyelmét a kockázatos időszakokra és az érzékeny csoportokra, hogy az ellátást hatékonyabbá tudják tenni.

4. Adatok és módszerek

4.1.Háttér

Dolgozatomban tárgyalt vizsgálat helyszíne Pécs városa volt. A mintegy 130 000 lakosú egyetemi város mikroklímája naposabb és melegebb az országos átlagnál, már-már mediterrán jellegű, ahol az éves csapadékmennyiség a magyarországi átlaghoz közelít. Pécs közvetlen környezetében, Pogányban, repülőtér működik, melynek meteorológiai állomása 1956 óta szolgáltat adatokat a HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. részére (HungaroMet, korábban Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ)). Ugyanakkor a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Karának botanikus kertjében szintén üzemel egy mérőállomás, mely a közelmúltban szintén az országos mérőhálózat részévé vált. A régió egészségügyi központja, a Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Klinikai Központ (PTE ÁOK KK), alegysége a Sürgősségi Betegellátó Osztály (SBO), melynek átlagos éves járóbeteg forgalma körülbelül 40 000 főre tehető.

4.2.Adatok

Dolgozatomban felhasznált adatokra az etikai engedélyt a Regionális Etikai Bizottságtól kaptam (hivatkozási szám: 8287-PTE2020).

Pécs város időjárás adatait és az SBO által regisztrált betegek adatait gyűjtöttem össze a 2010. január 1. és 2019. december 31. közötti időszakra vonatkozóan. A vizsgálathoz szükséges meteorológiai adatokat két különböző forrásból szereztem be: egyrészt a Pécs-Pogány repülőtér hitelesített megfigyelőállomásának meteorológiai adatait a Nemzeti Óceán- és Légkörkutató Hivatal (NOAA) (az állomás koordinátái: 45,991° É 18,241° K, 203 m Balti tengerszint felett) honlapjáról; másrészt a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földrajzi és Földtudományi Intézetének (PTE TTK FI) Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék (TKT) által üzemeltetett, az Ifjúság úti kampuszon található (46,078° É, 18,207° K, 174 mBf) meteorológiai állomás adatait is felhasználtam.

Azért gyűjtöttem két forrásból is időjárás adatakat, hogy a városközpontban és a város peremén mért értékek különbségét, szélsőségeit kiküszöböljem. A meteorológiai paraméterekre vonatkozó adatgyűjtés a következő adatokat tartalmazta a vizsgált időtartam minden egyes napjára vonatkozóan: a napi minimum-, maximum- és középhőmérséklet Celsius-fokban (°C);

a csapadék mennyisége milliméterben (mm); a harmatpont Celsius-fokban ($^{\circ}\text{C}$); az állomásszinti légnyomásadatok hektopascalban (hPa); az átlagos szélesség méter/szekundumban (m/s); valamint a relatív páratartalom mértékét százalékban (%). A betegforgalomra vonatkozó adatokat a Pécsi Tudományegyetem Klinikai Központ e-MedSolution adatbázisából nyertem ki. A 18 éves vagy annál idősebb járóbeteg ellátásban regisztráltak esetében a következő adatokat gyűjtöttem össze: nem; születési dátum; az osztályra való felvétel és az elbocsátás dátuma; a felvétel utáni diagnózisok. A diagnózisok azonosítására a Betegségek Nemzetközi Osztályozásának 10. revízióját (BNO-10) használtam.

4.3. Adatok előkészítése

4.3.1. Időjárási adatok

Az időjárási adatokat több lépésben készítettem elő: a Pécs-Pogány repülőtér napi adatait első lépésben a Brit mértékegységrendszerben feltüntetett adatokat metrikus rendszerbe konvertáltam. Ez a következőképpen zajlott [Kiss és mtsai., 2020.]:

$$t^{\circ}\text{C} = (t^{\circ}\text{F} - 32) \times 5 \div 9$$

ahol $t^{\circ}\text{C}$ a Celsius-skálán mért hőmérséklet, $t^{\circ}\text{F}$ pedig a Fahrenheit-skálán mért hőmérséklet.

$$\text{DewP}^{\circ}\text{C} = (\text{DewP}^{\circ}\text{F} - 32) \times 5 \div 9$$

ahol $\text{DewP}^{\circ}\text{C}$ a Celsius-skálán mért harmatpont, $\text{DewP}^{\circ}\text{F}$ pedig a Fahrenheit-skálán mért harmatpont.

$$\text{PRCPmm} = \text{PRCPin} \times 25,4$$

ahol PRCPmm a milliméterben vett csapadék mennyisége, PRCPin pedig az inchben megadott csapadék mennyisége.

$$\text{WDSPm/s} = \text{WDSPkt} \times 0,5144$$

ahol WDSPm/s a méter/szekundumban mért szélesség, WDSPkt pedig a csomóban megadott szélesség.

Ezután következett az TKT meteorológiai adatainak feldolgozása: mivel itt percnként regisztrált adatokról beszélünk, ezekből napi adatokat kellett létrehozni. Az adatokat .txt fájlok tartalmazták, havi bontásban. Mivel 120 darab fájlból kell a napi adatsort elkészíteni, automatizált munkafolyamatot hoztam létre. Különböző scriptek segítségével a .txt fájlok

karakterkódolását először UTF-8-ra kellett állítani (1.a. melléklet), majd megváltoztattam a határoló-, és a tizedes elválasztó karaktereket (1.b. melléklet), végül pedig a módosított .txt fájlokból .xlsx fájlokat készítettem (1.c. melléklet).

A percenként adatok tehát már rendelkezésre álltak egy Excel táblázatban. Ezután az átalakított forrásból létre kellett hozni a napi adatokat. Ehhez a művelethez egy Visual Basic Application (VBA) makrót készítettem, ami megvizsgálja az adott havi adatsort, majd a hőmérséklet, harmatpont, csapadék, légnyomás és szélsőbesség esetében napi átlagot készít, továbbá meghatározza a napi minimum-, és maximum hőmérsékletet is, mindezt a dátumok figyelembevételével (2.a. melléklet).

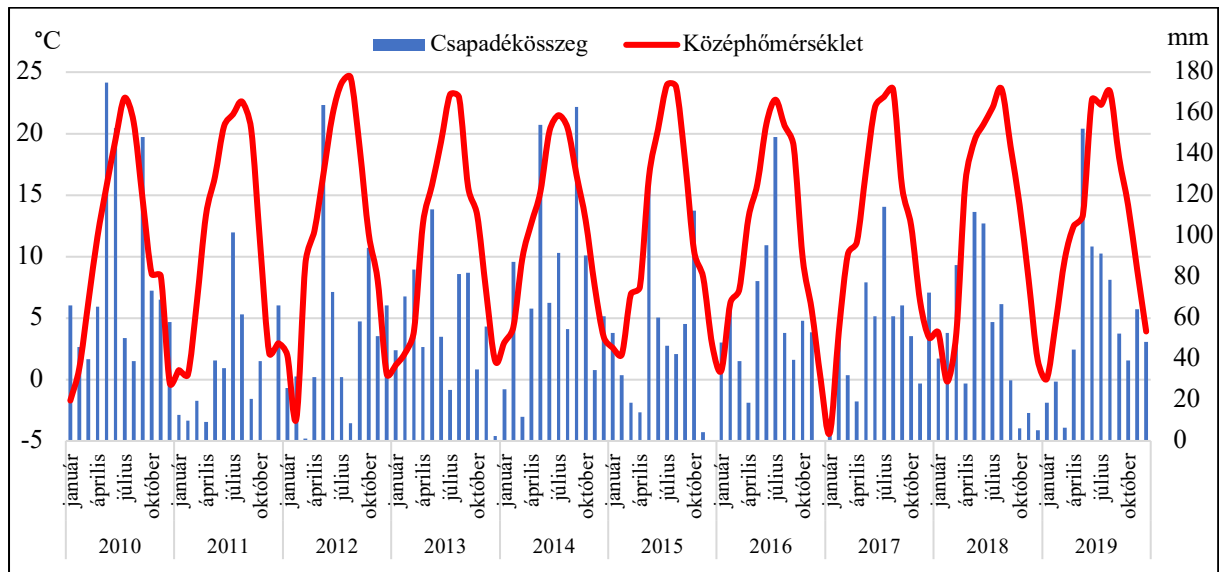
Ahhoz, hogy a szélsőséges időjárási körülményeket vizsgálhassam, a meteorológiai adatokból származtatott szélsőségeket kellett meghatározni. Ezt dichotomizálással oldottam meg a következőképpen: minden változót az 1., 5., 10., 90., 95. és 99. percentilis értékek szerint osztottam két csoportra. Az 1., 5. és 10. percentilis esetében a határértéknél alacsonyabb vagy azzal egyenlő értékek 1-es kódot, a többi 2-es kódot kapott. A 90., 95. és 99. percentilis esetében a határértéknél nagyobb vagy azzal egyenlő értékek 1-es kódot, a többi 2-es kódot kapott az adatbázisban. A pontos határértékeket a 3. melléklet tartalmazza.

A következő lépésben az egymást követő napok időjárási változásai kerültek fókuszba. Az egyes napokhoz tartozó mért értékek, és az azt megelőző nap paraméterei közötti különbséget számoltam ki, hogy lássam a napi változásokat. Ehhez kapcsolódóan a napi hőingás mértékét is hozzáadtam az adatbázishoz, melyet a napi maximum-, és minimum-hőmérséklet közötti különbségből határoztam meg. Ahhoz, hogy jelentős, illetve nem jelentős mértékű napi változásokat meghatározhassak az egyes paraméterek szórásait használtam: amikor a napi változás mértéke egy szóráson belül volt, azt a napot nem jelentős mértékű, az egy szóráson kívüli változásokat pedig jelentős mértékű változásnak tekintettem. Ezen időszakokhoz (jelentős és nem jelentős változás) hozzárendeltem az egyes intervallumok hosszát is (2.b. melléklet). A napi változások szórás alapján osztályozott határértékei és az időszakok hosszának leíró statisztikáját a 4. melléklet tartalmazza.

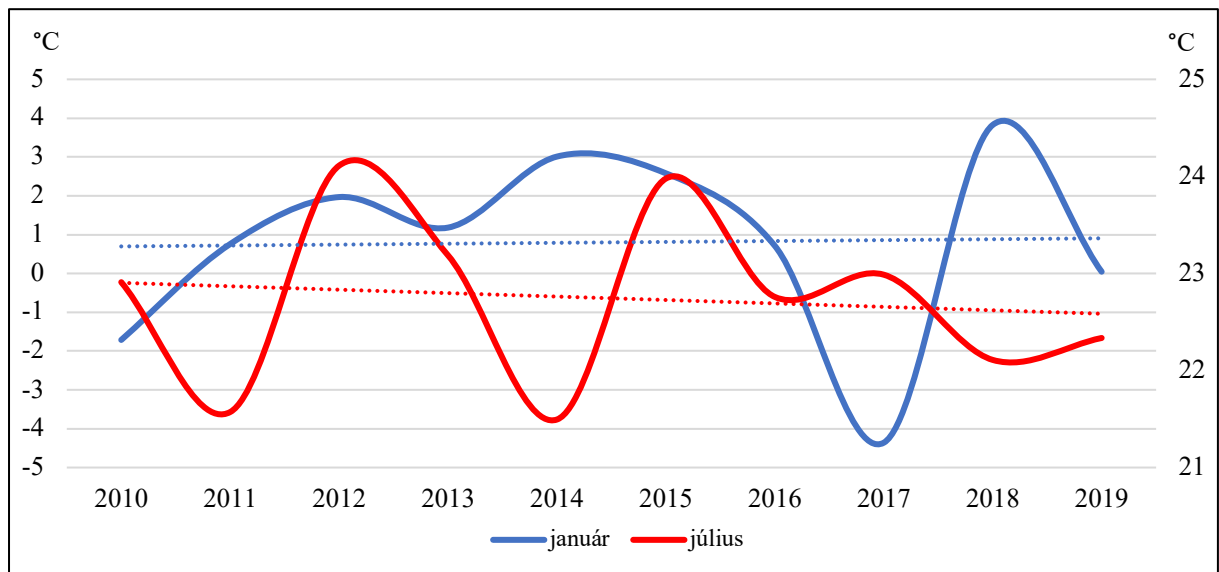
4.3.1.1.A 2010-2019 közötti klimatológiai viszonyok Pécsen

A 2010-2019 közötti 10 éves időszakban Pécs városának középhőmérséklete 12,04 °C, az évi közepes hőingás mértéke 21,94 °C (2. ábra). A tízéves átlagot tekintve elmondható, hogy a leghidegebb hónap a január – átlagosan 0,8 °C –, a legmelegebb pedig a július (22,74 °C) volt, melyet az augusztus követett mindössze egy tized fokkal lemaradva (3. ábra). A vizsgálat keretét adó 10 évben az évi átlagos csapadékmennyiség 687,56 mm volt. Átlagosan a

legszárazabb hónap a március ($Pr=33,81$ mm), melyet az április és a január követett. A legtöbb csapadék májusban hullott, a tízéves május havi átlag 119,80 mm (4. ábra), melyet a június és a július követett.



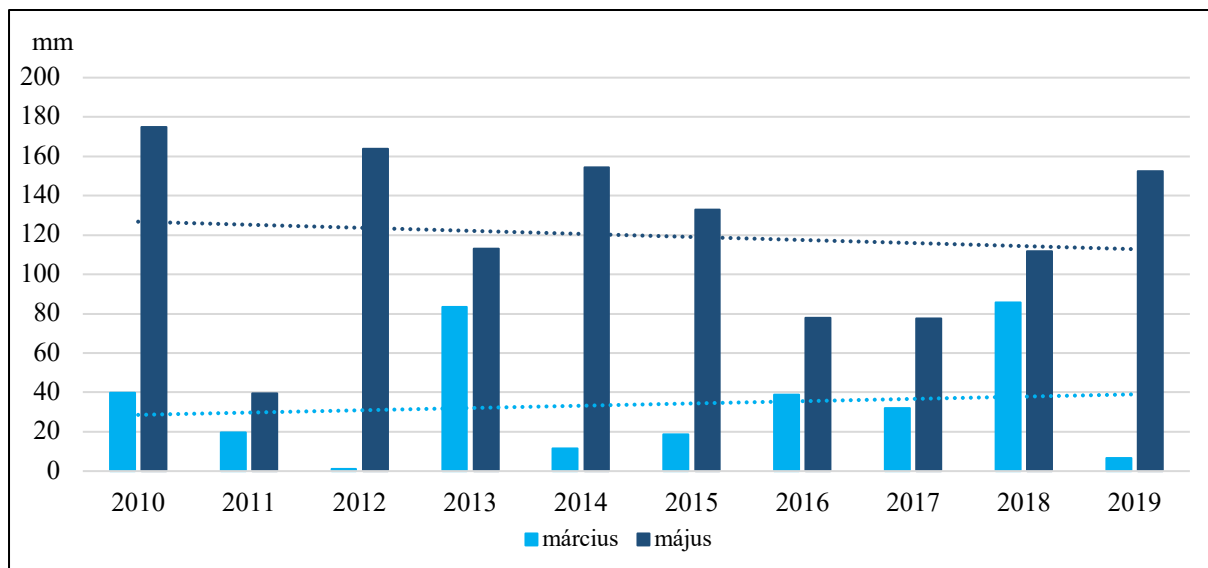
2. ábra. Pécs városának havi középhőmérsékletei és csapadékösszegei 2010-2019 között.



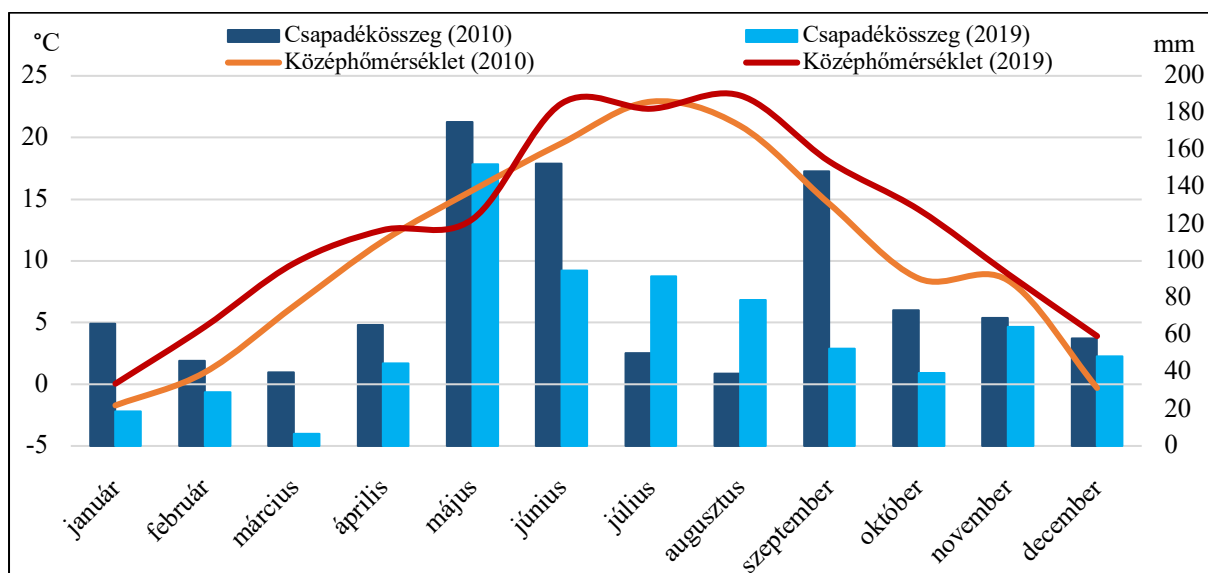
3. ábra. A januári és júliusi középhőmérsékletek éves alakulása Pécsen 2010-2019 között.

4.3.1.2. Időjárási szélsőségek

Az éves középhőmérsékletek alapján az időszak leghidegebb éve 2010 ($Ta=10,68$ °C), a legmelegebb pedig 2019 ($Ta=12,87$ °C) (5. ábra) volt. A vizsgált 10 év legmelegebb és leghidegebb napjainak listája az 1. táblázatban látható. Ennek ellenére nem a 2012-es évben, hanem 2017-ben volt tapasztalható a legnagyobb az évi közepes hőingás (27,98 °C).



4. ábra. A márciusi és májusi csapadékösszegek éves alakulása Pécsen 2010-2019 között.

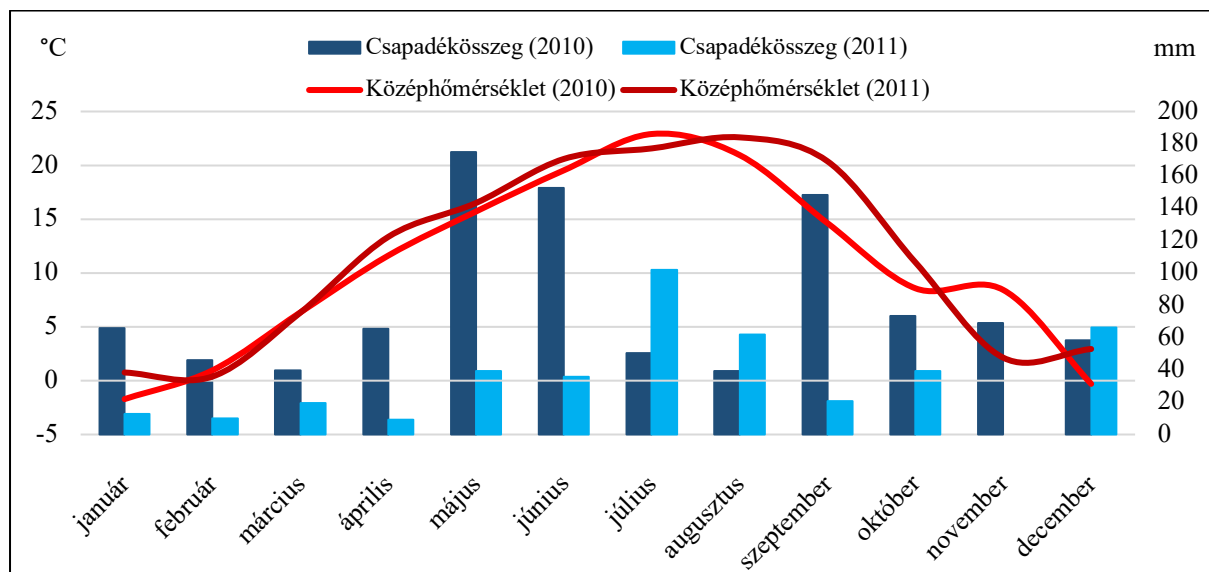


5. ábra. A leghidegebb (2010) és legmelegebb (2019) év havi középhőmérsékletei és csapadékösszegei Pécsen 2010-2019 között.

	Helyezés	Dátum	Ta °C	Tmx °C	Tmn °C
Legmelegebb napok	1.	2012.08.24	30,5	38,22	21
	2.	2012.08.06	30,4	37,88	23,22
	3.	2012.08.25	29,83	36	23
Leghidegebb napok	1.	2012.02.09	-12,56	-9,38	-15,38
	2.	2012.02.10	-12,38	-4,88	-17
	3.	2012.02.05	-11,72	-6,88	-15,5

1. táblázat. A legmelegebb és leghidegebb napok Pécsen 2010-2019 között.

Évenkénti bontásban vizsgálva a csapadék adatokat, megállapíthatjuk, hogy a legtöbb eső 2010-ben hullott, összege 983,49 mm, míg a legszárazabb év 2011 volt ($Pr = 415,8$ mm). 2011-ben a tízéves átlaghoz képest havonta 22,65 mm-rel kevesebb csapadékot regisztráltak. Csapadéktöbbletet júliusban, augusztusban és decemberben figyelhetünk meg, novemberben ugyanakkor egyáltalán nem hullott csapadék, és a május is több mint 80 mm-rel elmaradt a tízéves átlagtól (6. ábra). Az időszak majdnem kétharmada csapadékmentes volt (2247 nap).



6. ábra. A legszárazabb és legcsapadékosabb évek havi középhőmérsékletei és csapadékösszegei Pécsen 2010-2019 között.

4.3.1.3. Az időjárás napi változásai

	Dátum	Ta °C	TaD °C
Legmarkánsabb felmelegedés	2011.01.06	-2,33	9,88
	2011.01.07	7,05	
Legmarkánsabb lehűlés	2012.05.12	21,27	-11,83
	2012.05.13	9,44	
		Pr mm	PrD mm
Legnagyobb csapadékösszeg-növekedés	2012.05.22	4,06	79,26
	2012.05.23	83,32	
Legnagyobb csapadékösszeg-csökkenés	2012.05.23	83,32	-83,32
	2012.05.24	0	

2. táblázat. A legnagyobb középhőmérséklet-, és csapadékösszeg-változások Pécsen 2010-2019 között.

A vizsgált időszakban átlagosan $-0,002$ °C-kal csökkent egyik napról a másikra a középhőmérséklet. Átlagosan márciusban tapasztalható a legnagyobb középhőmérséklet-növekedés egymást követő napokon ($T_{mxD}=0,231$ °C), míg szeptemberben figyelhető meg a legnagyobb középhőmérséklet-csökkenés ($T_{mxD}= -0,24$ °C). A napi csapadékösszegekben átlagosan szeptemberben tapasztalható a legnagyobb növekedés ($PrD=0,1$ mm), a legnagyobb átlagos csapadékösszeg-csökkenés pedig októberben figyelhető meg ($PrD= -0,14$ mm). A legnagyobb középhőmérséklet-növekedés, illetve csökkenés értékeit, valamint a legnagyobb csapadékösszeg-változásokat a 2. táblázatban részleteztem.

4.3.2. Betegforgalmi adatok

	Nem	Korcsoport	Elemzészám (n)	Esetszám%
COPD eset n=7086	Férfi	<67 év	1455	42,9
		≥67 év	1936	57,1
	Nő	<67 év	1991	53,9
		≥67 év	1704	46,1
Nem COPD eset n=287919	Férfi	<67 év	97499	70,7
		≥67 év	40430	29,3
	Nő	<67 év	85600	57,1
		≥67 év	64390	42,9

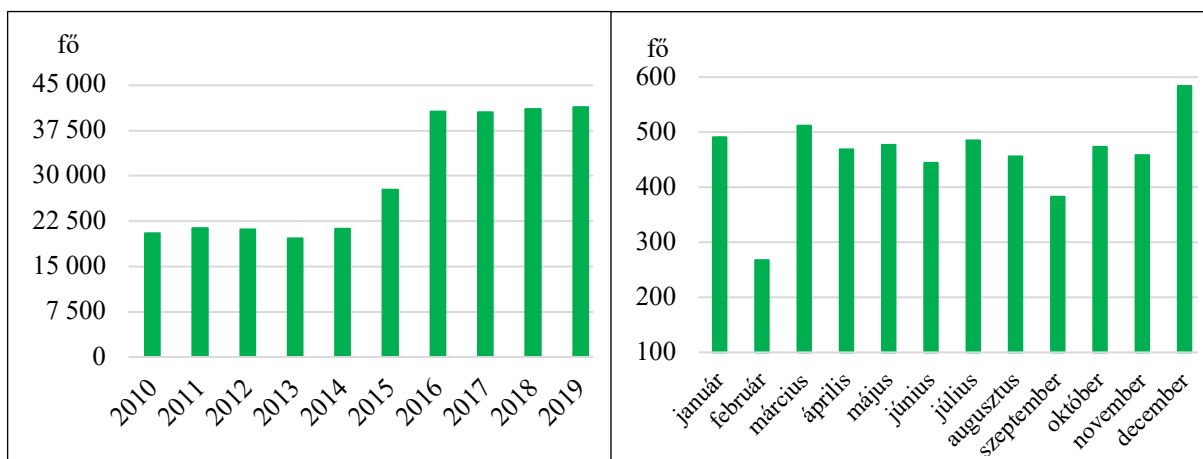
3. táblázat. Az SBO-n regisztrált betegek demográfiai jellemzői.

A betegforgalmi adatok leválogatását és csoportosítását a következőképpen végeztem el [Molnár és mtsai., 2023.]: az SBO-n megjelent betegeket közül leválogattam a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátásokat a BNO-10 kódok alapján: azok a betegek, akiknél J4400, J4410, J4480, vagy J4490 kódot regisztráltak 1-es kódot kaptak az adatbázisban, a többiek 2-es. Ezután összesítettem a COPD megjelenéssel kapcsolatos adatokat a napi átlagok (1,94 COPD eset/nap) alapján: az átlag feletti COPD megjelenések napjaihoz 1-es kódot, míg az átlagos, és az alatti forgalommal rendelkező napokhoz 2-es kódot rendeltem.

A vizsgált populációt ezen kívül nemek és korcsoportok szerint is osztályoztam. A nemek tekintetében a férfiak 1-es, a nők 2-es kódot kaptak. Életkor szerint pedig a COPD-s betegek átlagéletkora (66,79 év) alapján két csoportot hoztam létre: 67 év alattiak (1. csoport) és 67 év felettiak (2. csoport) (3. táblázat).

4.3.2.1. Általános betegforgalom és demográfiai jellemzők

2010-2019 között 295005 páciens részesült járóbeteg-ellátásban a pécsi SBO-n. A vizsgált tíz év alatt az átlagos napi esetszám 81 volt, a legalacsonyabb forgalom 2012. január 14-én és 2013. június 30-án volt 27-27 fővel, a legforgalmasabb nap 2018. április 28. volt, amikor 165 páciens jelent meg az osztályon. A legkisebb éves betegforgalom 2013-ban volt 19621 esettel, míg a legnagyobb 2019-ben 41375 esettel. Jól látható, hogy a vizsgált időszak keretét adó 10 év első felében gyakorlatilag fele volt az éves regisztrált esetek száma az SBO-n a 2016-2019 között tapasztalható esetszámokhoz képest. A különbség abból adódhat, hogy az Elektronikus Egészségügyi Szolgáltatási Tér (EESZT) 2017-es hivatalos tesztélése előtti évben megnőtt a regisztrációs fegyelem. A tízéves átlagot tekintve havonta átlagosan decemberben látják el a legtöbb embert, 2584 főt, míg a legalacsonyabb átlagos havi betegforgalom februárban tapasztalható 2268 regisztrált pácienssel (7. ábra).

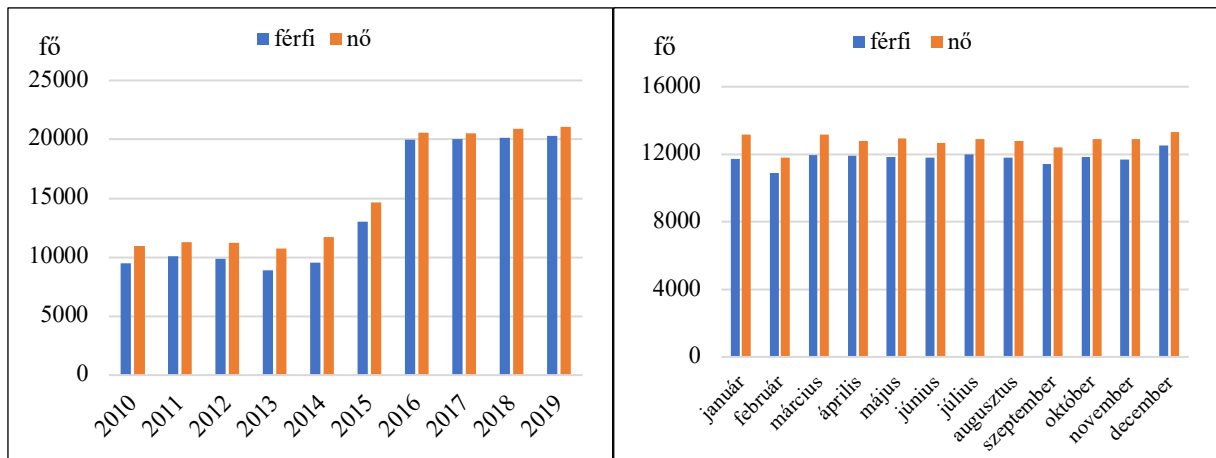


7. ábra. A pécsi SBO éves és átlagos havi járóbeteg-forgalma 2010-2019 között.

A vizsgált időszakban a regisztrált páciensek 52,1%-a nő, 47,9%-a férfi volt. Évenként vizsgálva a nemek arányát az látható, hogy 2017-ben nagyjából hasonló volt az SBO-n megjelent nők és férfiak aránya (50,61% és 49,39%). A legnagyobb különbség 2014-ben volt, ekkor a betegek 55,24%-a volt nő. Átlagosan a legtöbb nő és férfi is decemberben jelent meg az SBO-n, míg mindkét nem esetében a február jelenti a minimum esetszámot. Átlagosan december hónapban a közelít egymáshoz a nemek aránya, míg a legnagyobb különbségek januárban tapasztalhatók a nők javára (8. ábra).

A 2010-2019 között az SBO-n megjelent betegek átlagéletkora 57 év volt. A legfiatalabb páciens 18 éves (összesen 3425 fő), a legidősebb 107 éves (1 fő) volt. A havi átlagokat vizsgálva látható, hogy átlagosan januárban a legmagasabb az átlagéletkor (58 év), ezzel szemben

szeptemberben a legalacsonyabb (57 év). 2014-ben volt a legmagasabb az átlagéletkor (58 év), a legalacsonyabb pedig 2016-ban (55 év) (9. ábra).



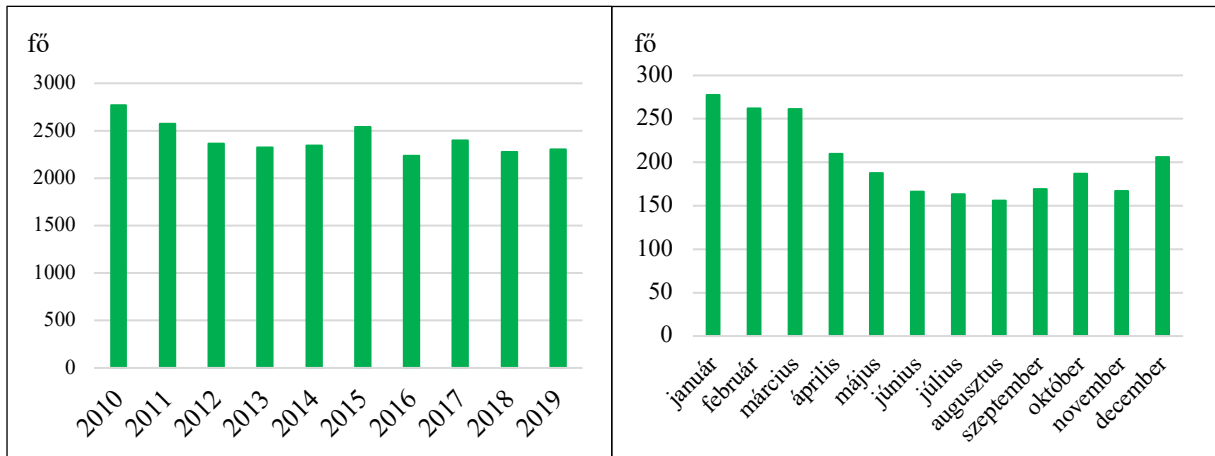
8. ábra. A pécsi SBO éves és átlagos havi járóbeteg-forgalma nemek szerint 2010-2019 között.



9. ábra. A pécsi SBO-n regisztrált betegek átlagéletkora éves és havi szinten 2010-2019 között.

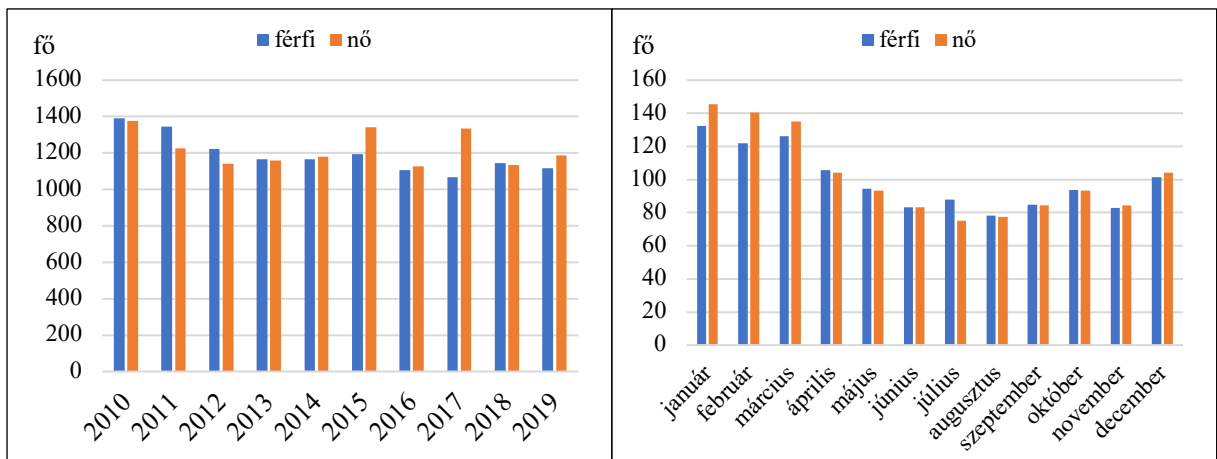
4.3.2.2. A légzőrendszeri betegségekkel kapcsolatos betegforgalom és demográfiai jellemzők

2010-2019 között összesen 24125 beteget regisztráltak, akik közvetlen vagy közvetett légzőrendszeri probléma vagy betegség (BNO10=J00-J99) miatt érkeztek az SBO-ra. A napi átlagos légzőrendszeri betegség miatti forgalom 7, a legkevesebb ilyen eset 0 (21 napon), a legtöbb 24 (2011. január 31-én) volt egy napon. Évenkénti bontásban vizsgálva az adatokat az látható, hogy a legtöbben 2010-ben jártak légzőrendszeri problémával az SBO-n (2767), míg a legkevesebb beteget 2016-ban regisztrálták (2233 fő). Átlagosan a legtöbb légzőrendszeri beteget januárban regisztrálták (278 fő), míg augusztusban volt tapasztalható a legkevesebb ilyen jellegű betegforgalom (156 fő) (10. ábra).



10. ábra. A pécsi SBO éves és átlagos havi légzőrendszeri betegségekkel kapcsolatos járóbeteg-forgalma 2010-2019 között.

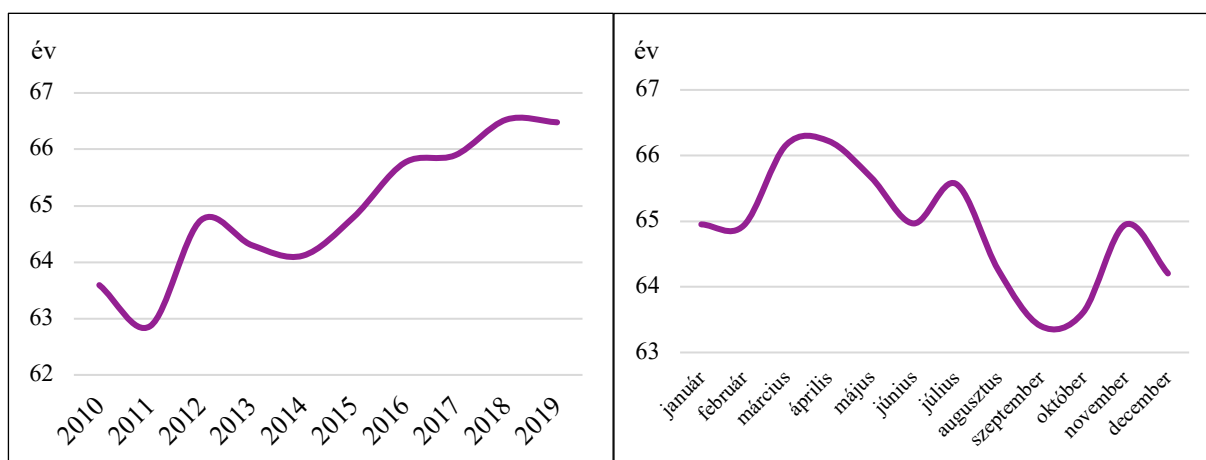
A vizsgált időszakban a légzőrendszeri betegségekkel összefüggő beteglátogatások nemi aránya 50,6%-49,4% volt a nők javára. Az eddigiekkel ellentétes mintázat fedezhető fel akkor, amikor keringési rendszer betegségeinek éves nemi arányait vizsgáljuk: 2010-2013 között férfi túlsúly látható az adatokból, ami 2014-től fordul át női túlsúlyba, és csak 2018-ban haladja meg újra az 50%-ot a férfiak aránya. Átlagosan januárban regisztrálták a legtöbb nőt és férfit is. Amíg jellemzően augusztusban a legalacsonyabb a férfiak száma (78 fő), addig a júliusban találjuk a legkevesebb nőt (75 fő). A tízéves férfi nő arányt tekintve a legnagyobb különbség februárra jellemző (53,6% – 46,4% a nők javára) (11. ábra).



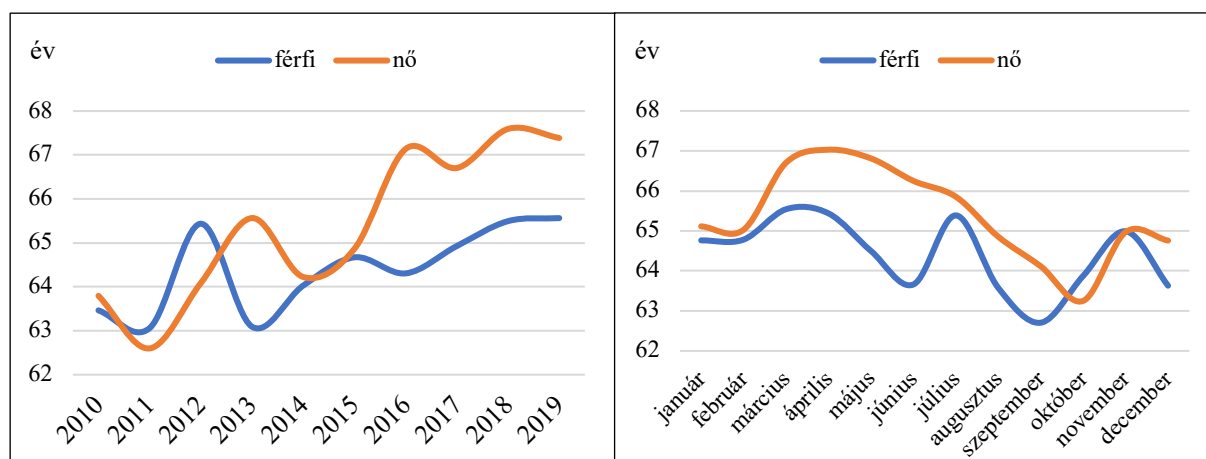
11. ábra. A pécsi SBO éves és átlagos havi légzőrendszeri betegségekkel kapcsolatos járóbeteg-forgalma nemek szerint 2010-2019 között.

2010-2019 között a légzőrendszer betegségeivel kapcsolatos problémával az SBO-ra érkező betegek átlagéletkora 65 év volt. A legfiatalabb regisztrált beteg 18 éves, a legidősebb 105 éves volt. A legmagasabb átlagéletkor (67 év) 2018-ban volt tapasztalható, míg 2011-ben

az átlagos légzőrendszeri betegséggel regisztrált páciens 63 éves volt. Átlagosan április hónapra volt jellemző a legmagasabb átlagéletkor (66 év), míg jellemzően a legfiatalabbak betegek (63 év) szeptemberben jelentek meg az SBO-n (12. ábra).



12. ábra. A pécsi SBO-n légzőrendszeri betegséggel regisztrált betegek átlagéletkora éves és havi szinten 2010-2019 között.



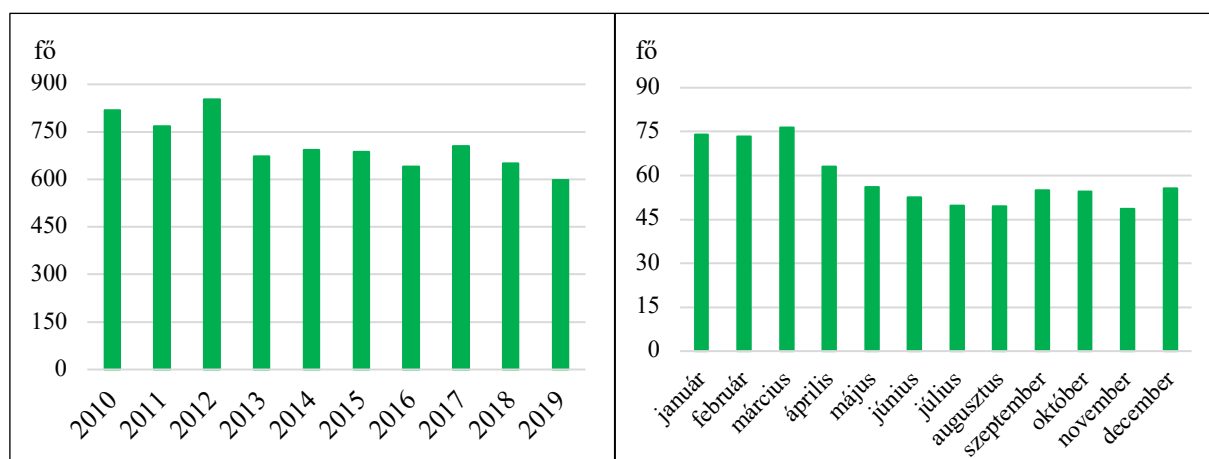
13. ábra. A pécsi SBO-n légzőrendszeri betegséggel regisztrált betegek átlagéletkora nemek szerint éves és havi szinten 2010-2019 között.

A nők átlagéletkora 65 év, míg a férfiaké 64 év volt ebben az időszakban. A legmagasabb átlagéletkor a légzőrendszeri betegségekkel regisztrált nőknél 2018-ban (68 év), a férfiaknál 2019-ben (66 év) figyelhetjük meg. A legalacsonyabb átlagéletkor mindkét nem esetében 2011-ben volt jellemző (63 év mindkét esetben). Áprilisban regisztrálták a legmagasabb átlagéletkorú nőket (67 év), a férfiak körében a legmagasabb átlagéletkor a márciust jellemezte (65 év). A legalacsonyabb átlagéletkor a nőknél októberre, a férfiaknál szeptemberre volt jellemző (63 év mindkét esetben) (13. ábra).

4.3.2.3. COPD-vel kapcsolatos betegforgalom és demográfiai jellemzők

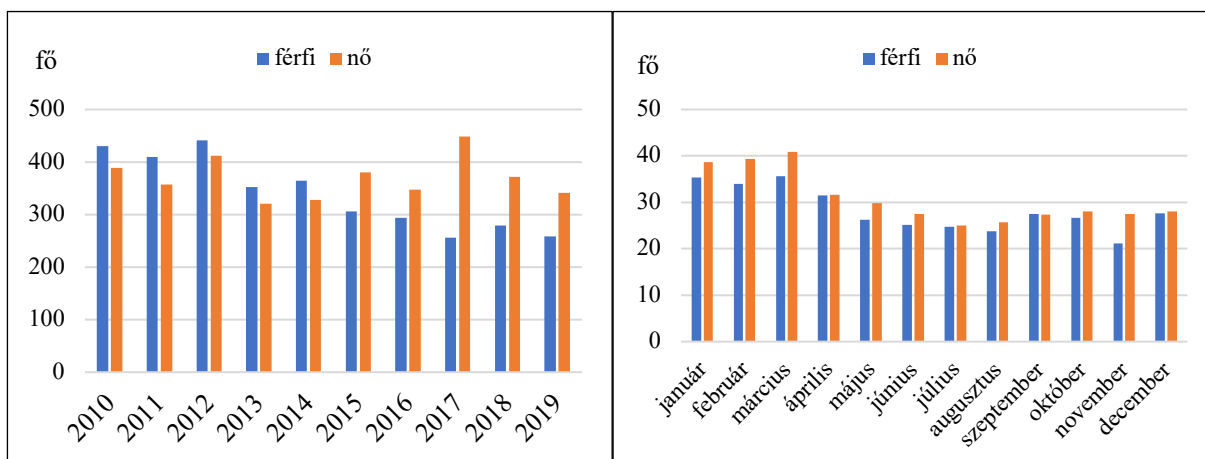
2010-2019 között összesen 7086 főt regisztráltak COPD-vel kapcsolatos BNO-10 kóddal (J4400, J4410, J4480 és J4490), a napi átlag 2 fő volt. 652 napon nem volt COPD-s beteglátogatás, ami a vizsgált időszak 17%-át teszi ki. A legmagasabb napi esetszám 11 fő volt, 2012. március 2-án. 2012-ben regisztrálták a legtöbb COPD-s esetet (853), 2019-ben pedig a legkevesebbet (599). Átlagosan a legtöbb COPD-s eset januárban (74), a legkevesebb novemberben (49) volt jellemző (14. ábra).

A COPD-vel összefüggésbe hozható esetek 52,2%-a nőkhöz, 47,8%-a férfiakhoz volt köthető a vizsgált 10 éves időszakban. 2017-ben regisztrálták a legtöbb COPD-s nőt, szám szerint 449 főt, az esetszámok minimuma körükben a 2013-as év volt (320 fő). A férfiak adatait vizsgálva csökkenő tendencia fedezhető fel az éves esetszámokban: a legtöbb esetet 2010-ben (430 fő), a legkevesebbet 2017-ben (256 fő) regisztráltak. Ugyanakkor hozzá kell tenni, hogy a 2016-os évtől kezdődően a férfi COPD-s esetek száma tartósan 300 alatt maradt.

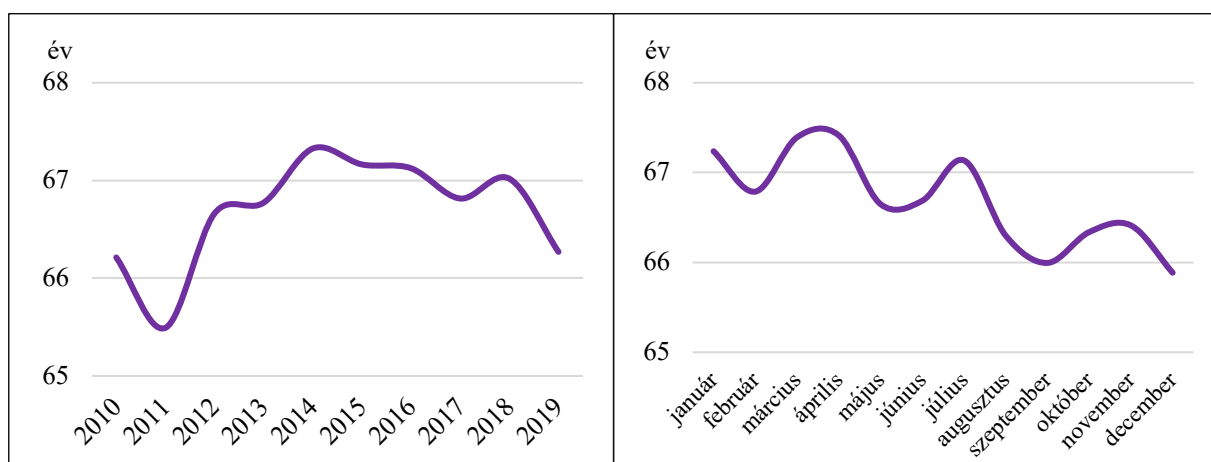


14. ábra. A pécsi SBO éves és átlagos havi COPD-vel kapcsolatos járóbeteg-forgalma 2010-2019 között.

Az évenkénti bontásból kirajzolódik, hogy 2015-től kezdődően alakult ki a női túlsúly a COPD-s betegek körében és a legnagyobb különbség a nemi arányokban 2017-ben volt: a COPD-s betegek csupán 36,3%-a volt férfi ebben az évben. Mind a nők, mind pedig a férfiak esetében a március hónap adta a legtöbb ilyen jellegű esetet az SBO-n, 41, illetve 36 főt. Amíg a nők körében július hónapban figyelhető meg átlagosan a legkisebb esetszám (25), addig a férfiaknál ez novemberre jellemző (21 fő). Az arányokat vizsgálva látható, hogy februárban tapasztalható a legnagyobb különbség a nemek arányában (53,7%-46,3% a nők javára), míg a legkisebb különbség áprilisban látható (50,1%-49,9%) (15. ábra).



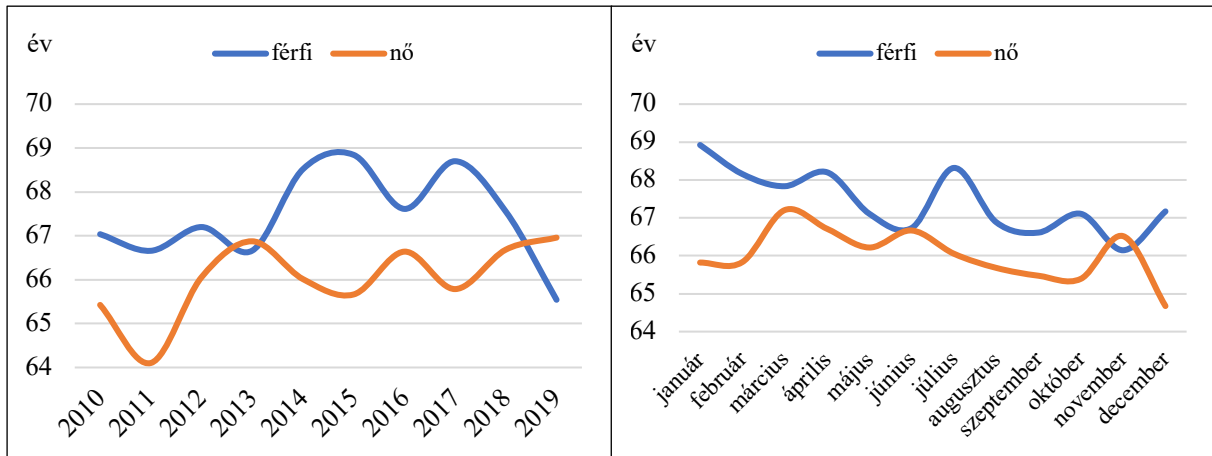
15. ábra. A pécsi SBO éves és átlagos havi COPD-vel kapcsolatos járóbeteg-forgalma nemek szerint 2010-2019 között.



16. ábra. A pécsi SBO-n COPD-vel regisztrált betegek átlagéletkora éves és havi szinten 2010-2019 között.

A COPD-s betegek átlagéletkora 67 év volt 2010-2019 között a pécsi SBO-n. Az adatokat évenkénti bontásban vizsgálva az látható, hogy 2014-ben volt a legmagasabb a COPD-s betegek átlagéletkora, 2011-ben pedig a legalacsonyabb (67 év, illetve 65 év). Átlagosan április hónapban volt a legmagasabb a betegek átlagéletkora (67 év), míg a legalacsonyabb érték szeptemberre volt jellemző (66 év) (16. ábra). Évenkénti bontásban látható, hogy 2019-ben regisztrálták a legmagasabb átlagéletkort a nők között (67 év), a férfi csoportban ez az év 2015 volt (69 év). 2011-ben volt a legalacsonyabb az átlagéletkor a nőknél, míg a férfiaknál 2019-ben (64 év és 66 év). A tendencia azt mutatja, hogy egyre szűkül a különbség a két nem között az átlagéletkor vonatkozásában. A nőkre alacsonyabb átlagéletkor volt jellemző, 54 év, míg a férfiak átlagéletkora 67 év volt. A legidősebb nő páciensek jellemzően márciusban, a férfiakat

pedig januárban regisztrálták (67 év és 69 év). A legalacsonyabb átlagéletkor a nőknél a decembert, a férfiaknál pedig a novembert jellemezte (65 év és 66 év) (17. ábra).



17. ábra. A pécsi SBO-n COPD-vel regisztrált betegek átlagéletkora nemek szerint éves és havi szinten.

4.3.2.4. Nemek és korcsoportok szerinti különbségek

A vizsgált időszakot tekintve megállapítható, hogy szignifikáns különbség volt a nemek között az összes eset, a légzőrendszeri esetek, illetve az átlag feletti COPD esetek tekintetében a teljes vizsgált populációban. Mindegyik megvizsgált változó esetében a nők körében voltak tapasztalható magasabb értékek. A korcsoportok között szignifikáns különbség volt az összes eset tekintetében a 67 éven alattiak, a légzőrendszeri esetek, a COPD-s esetek, illetve az átlag feletti COPD esetek tekintetében a 67 év felettiak javára. (4. táblázat).

	Nem (<i>p</i>)	Korcsoport (<i>p</i>)
Összes eset	<0,001	<0,001
Légzőrendszeri eset	<0,001	<0,001
COPD eset	0,055	<0,001
Átlag feletti COPD eset	0,044	<0,001

4. táblázat. Nemek és korcsoportok közötti különbségek *p*-értékei.

4.4. Statisztikai vizsgálat

A statisztikai vizsgálatokat IBM SPSS 28, és Jamovi 2.3.28 szoftverek felhasználásával végeztem el.

Első lépésben a leíró statisztikát készítettem el minden egyes vizsgálni kívánt aspektus tekintetében. Leírtam Pécs városának klimatológiai jellemzőit, a megfigyelt időjárási

szélsőségeket és az időjárás napi változásainak sajátosságait (4.3.1.1.-4.3.1.3 alfejezetek). Elkészítettem továbbá a vizsgált időszakban a pécsi SBO-n regisztrált betegek demográfiai jellemzését, további mélységeket feltárva először a légzőrendszeri betegségekkel, majd a COPD-vel regisztrált betegek demográfiai jellemzőivel kapcsolatban (4.3.2.1.-4.3.2.3. alfejezetek). Ezen jellemzőket Mann-Whitney U teszttel is megvizsgáltam, hogy a különböző vizsgált jellemzők eltérnek-e egymástól a nemek és a korcsoportok között (4.3.2.4. alfejezet) [Molnár és mtsai., 2023.].

Az időjárás paraméterek szélsőséges értékei, valamint az időjárás paraméterek szélsőséges mértékű változásai (független változók) és az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos ellátások (függő változó) közötti összefüggéseket kontingencia (2×2 tábla) táblázatok segítségével vizsgáltam meg, hogy rizikóbecslést készíthessek a függő és független változók között (5.1.1. és 5.2.1. alfejezet). Annak érdekében, hogy részletesebb képet kapjak a nemek és korcsoportok független és függő változók kapcsolatára gyakorolt hatásairól, a vizsgálatokat rétegeztem (3. táblázat), és Mantel-Hanszel féle esélyhányados számítást végeztem (5.1.2. és 5.2.2. alfejezet) [Kiss és mtsai., 2020., Márovics és mtsai., 2022.].

Az időjárás napi változásainak mértékét és hosszát Excelben, VBA makrók segítségével határoztam meg (2a. és 2b. melléklet), az eredményeket pedig beépítettem az adatbázisba. Ezen változók COPD esetszámokra gyakorolt hatásait ordinális regressziós vizsgálattal határoztam meg (5.3.1. és 5.3.3. alfejezet), melynek előteszteléshez kollinearitás vizsgálatot végeztem el. Annak érdekében, hogy az ordinális regresszió elemzést rétegezve is végre tudjam hajtani, külön-külön is elvégeztem az analízist a nemekre és a korcsoportokra (5.3.2. és 5.3.4. alfejezet) [Márovics és Girán, 2023.].

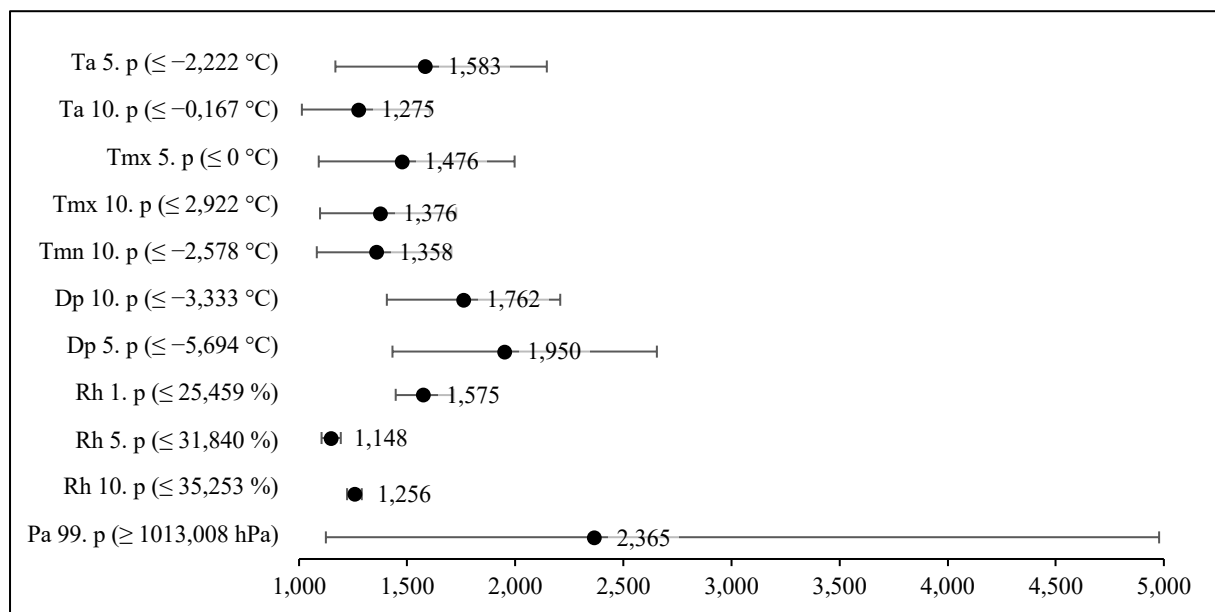
A szignifikancia szintek meghatározásánál $p < 0,05$ értéket vettem alapul, tehát a megbízhatósági intervallum (CI) minden esetben 95% volt.

5. Eredmények

5.1. Az időjárási szélsőségek és a COPD-vel kapcsolatos látogatások

5.1.1. Az időjárási szélsőségek és a COPD-vel kapcsolatos látogatások összefüggései

Az időjárási paraméterek szélsőséges értékei több esetben is statisztikailag szignifikáns kapcsolatot mutatnak az átlagosnál magasabb napi COPD-vel kapcsolatos betegszámokkal.

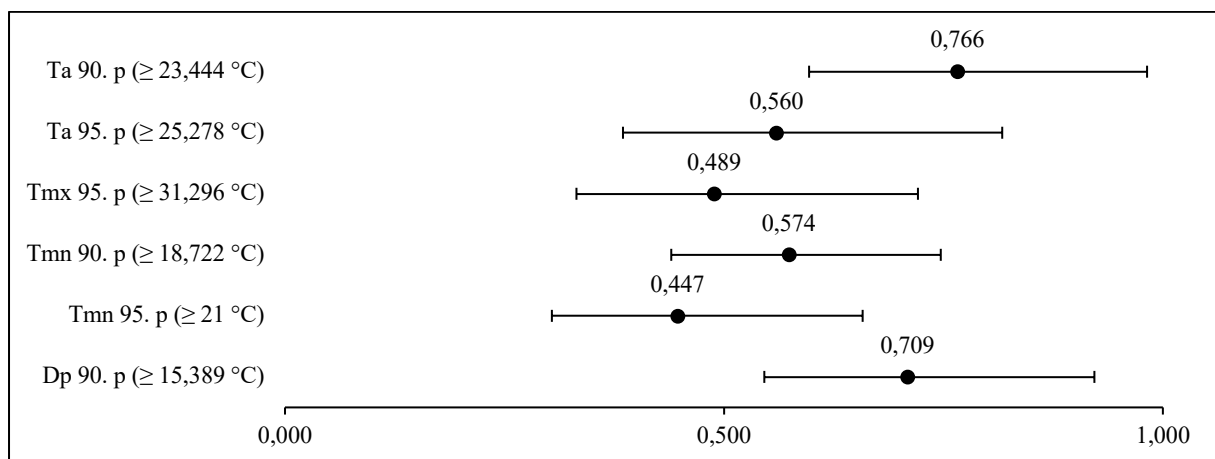


18. ábra. A meteorológiai paraméterek szélsőségei és az átlagosnál nagyobb számú COPD betegforgalom esélyhányadosai (OR), valamint a hozzájuk tartozó 95%-os megbízhatósági intervallum (95%CI).

Az átlaghőmérséklet 5. és 10. percentilis értékei, tehát a 10 éves napi középhőmérsékletek extrém alacsony értékei kockázati tényezőként azonosíthatók, melyek fennállása esetén 27,5%-58,3%-kal emelték meg az esélyét annak, hogy adott körülmények között a napi COPD esetek száma átlag feletti legyen. Hasonló összefüggések figyelhetők meg a napi maximum-hőmérsékletek extrém alacsony értékeivel is, amikor is a vizsgált paraméter 5. és 10. percentilis értékei mutattak szignifikáns kapcsolatot az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos betegszámokkal jellemzett napokkal, még hozzá 37,6%-47,6% közötti emelkedett eséllyel. A minimum-hőmérsékletek extrém alacsony értékei (10. percentilis alatti hőmérsékletek) mutattak szignifikáns összefüggést, ezeken a napokon 35,8% eséllyel növekedett az átlag fölé a COPD-vel kapcsolatos ellátások száma. A harmatpont extrém alacsony értékei (5. és 10. percentilis) jelentősen magasabb eséllyel emelték (76,2%-95%) meg az átlagon felüli COPD-vel kapcsolatos esetszámokat az adott napokon. A relatív páratartalom extrém alacsony értékei

(1., 5. és 10. percentilis) esetében 25,6%-57,5% közötti eséllyel fordult elő átlagosnál nagyobb számú COPD-vel kapcsolatos esetszám. A legjelentősebb kockázati tényezőként azonban a legnyomás 99. percentilis értékénél magasabb mért értékeit azonosítottam: 1013 hPa fölötti körülmények 136,5%-kal növelték az esélyét az átlagosnál nagyobb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi megjelenésnek (18. ábra).

Azonosítottam továbbá olyan időjárási tényezőket is, melyek extrém értékei védőtényezőként határozhatók meg. A középhőmérséklet 90. és 95. percentilis értékeinél, a maximum-hőmérséklet 95. percentilisénél, valamint a minimum-hőmérséklet 90. és 95. percentilisénél magasabb hőmérsékletek 23,4%-55,3% között csökkentették adott napokon az átlag feletti COPD-vel kapcsolatos esetszámok esélyét. Ezek mellett a harmatpont 90. percentilis feletti értékei bizonyultak védőtényezőnek, 29,1%-kal csökkentve az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos esetszámokkal jellemezhető napok esélyét (19. ábra).



19. ábra. A meteorológiai paraméterek szélsőségei és az átlagosnál nagyobb számú COPD betegségforgalom esélyhányodásai (OR), valamint a hozzájuk tartozó 95%-os megbízhatósági intervallum (95%CI).

5.1.2. Az időjárási szélsőségek és a COPD-vel kapcsolatos látogatások összefüggéseinek rétegzett elemzése nemek és korcsoportok szerint

Munkám során megvizsgáltam, hogy az egyes meteorológiai paraméterek szélsőséges értékei és az átlagosnál nagyobb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolatot befolyásolja-e a nem vagy az életkor. Az elemzések eredményei nem utaltak arra, hogy a nem akár zavaró-, akár hatásmódosító tényezőként viselkedne.

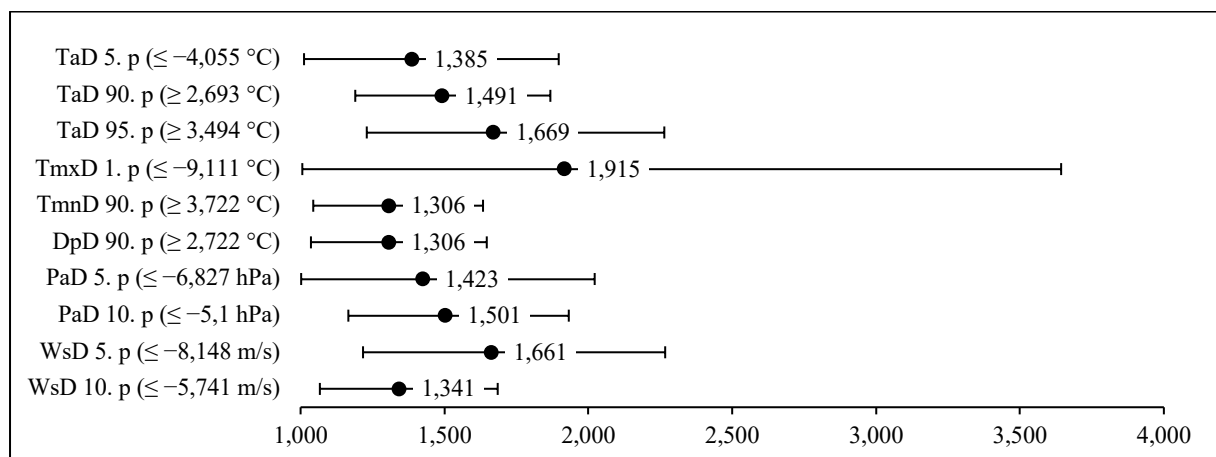
Ugyanígy elvégeztem a rétegzett elemzést a kor alapján is, ehhez az átlagéletkort (67 év) használtam fel, hogy a populáció két csoportba soroljam. A vizsgált paraméterek elemzése

során nem tudtam kimutatni, hogy a korcsoport akár zavaró-, akár hatásmódosító tényezőként viselkedne.

5.2. Az időjárás napi változásainak szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások

5.2.1. Az időjárás napi változásainak szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat

Az meteorológiai paraméterek napi változásai több tényező esetén is statisztikailag szignifikáns összefüggést mutattak az átlagosnál magasabb számú COPD-vel összefüggő sürgősségi ellátásokkal. A középhőmérséklet-különbség tekintetében vegyes kép látható, ugyanis az egymást követő napokon tapasztalható csökkenés, illetve emelkedés is befolyásolhatja az átlagosnál magasabb COPD esetszámokat: a 4,055 °C-nál nagyobb csökkenés, valamint a 2,693 °C-nál nagyobb növekedés is kockázati tényezőként azonosítható.



20. ábra. A meteorológiai paraméterek változásának szélsőségei és az átlagosnál nagyobb számú COPD betegforgalom esélyhányadosai (OR), valamint a hozzájuk tartozó 95%-os megbízhatósági intervallum (95%CI).

Ezen körülmények bekövetkezése esetén 38,5%-66,9%-kal nagyobb eséllyel regisztrálnak az átlagosnál nagyobb számú COPD esetet az SBO-n. A maximum-hőmérsékletben tapasztalható különbségek vizsgálatakor a 9,111 °C-nál nagyobb csökkenést azonosítottam kockázati tényezőként, mely esetében az átlagosnál magasabb számú COPD esetszámok esélye 91,5%-kal emelkedett. A minimum-hőmérséklet esetében ellenkező irányú, tehát az előző naphoz képest magasabb minimum-hőmérsékletek mutattak statisztikailag szignifikáns összefüggést: abban az esetben, amikor az egymást követő napokon a minimum-hőmérsékletben 3,722 °C-nál nagyobb különbség tapasztalható, 30,6%-kal nőtt az esélye annak, hogy átlagosnál

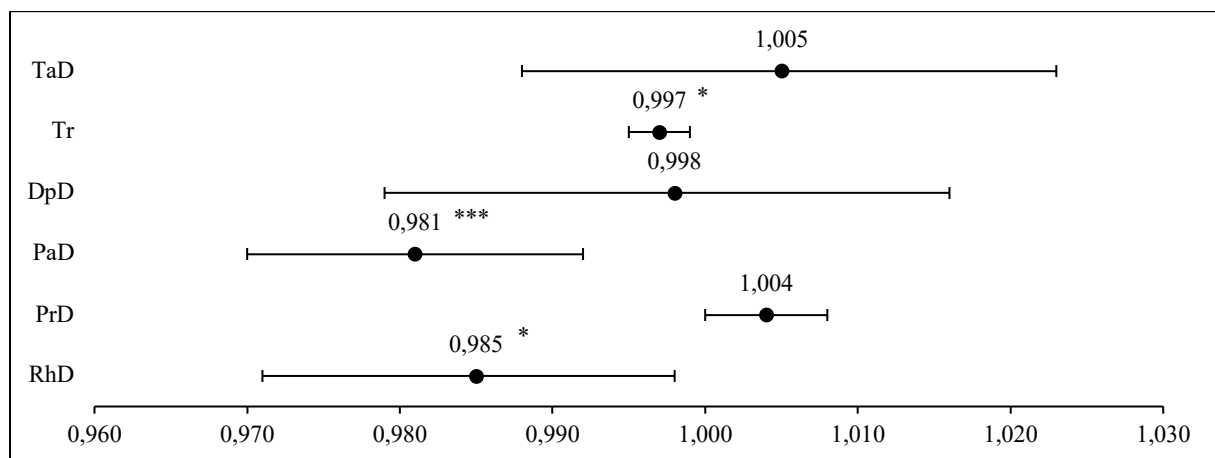
magasabb számú COPD-vel kapcsolatos esetet regisztráltak. A harmatpont változásaiban tapasztalható különbségek tekintetében az előző napi értékekhez képest 2,722 °C emelkedés hozható összefüggésbe az átlagosnál magasabb számú napi COPD esetekkel, ami 30,6%-kal növelte ennek az esélyét. A légnyomás-, és szélesebesség-különbség esetében azokon a napokon, amikor e paraméterek csökkentek, nagyobb eséllyel regisztráltak átlagnál több COPD esetet: a légnyomáskülönbség legalább 5,1 hPa-lal történő csökkenés 42,3%-50,1%-kal emelte ezt az esélyt; a szélesebesség-különbség esetében legalább 5,741 m/s csökkenés kellett ahhoz, hogy az átlagosnál magasabb számú napi COPD eset 34,1%-66,1% eséllyel bekövetkezzen (20. ábra).

5.2.2. Az időjárás napi változásainak szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos látogatások közötti kapcsolatok rétegzett elemzése nemek és korcsoportok szerint

Dolgozatomban megvizsgáltam, hogy az időjárás napi változékonysága és az átlagosnál nagyobb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolatot befolyásolja-e a nem vagy az életkor. Az elemzések eredményeinek megvizsgálása után kiderült, hogy sem a nem, se pedig az általam meghatározott korcsoportok nem azonosíthatóak zavaró-, vagy hatásmódosító tényezőként.

5.3. Az időjárás változékonyságának időbelisége, mértéke és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások

5.3.1. Az időjárás változékonyságának időbelisége és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat

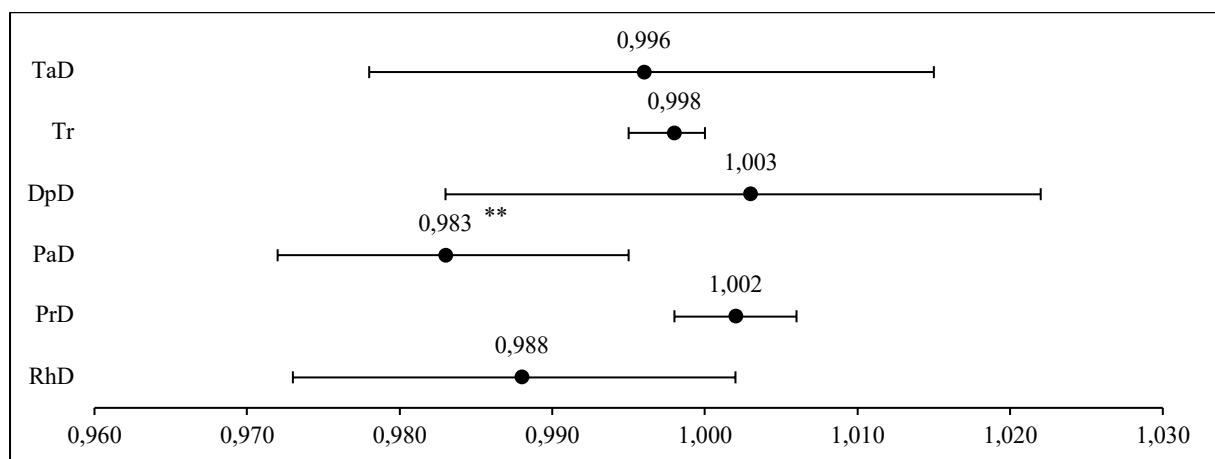


21. ábra. A meteorológiai paraméterek napi változásai és a COPD betegforgalom esélyhányodasai (OR), valamint a hozzájuk tartozó 95%-os megbízhatósági intervallum (95%CI) (***) $p < 0,001$, *) $p < 0,05$).

Az időjárás változékonyságát más aspektusból is vizsgálat alá vettem. A korábbi eredményekből világos volt, hogy a változások extrém mértéke befolyásolja a COPD esetszámokat, azonban a változékonny időszakok hosszáról, és azok hatásairól nem kaptam információt. Három paramétert azonosítottam, melyek változékonyságának időbelisége befolyásolja a COPD esetszámokat, melyek a napi hőingás változékonysága, a légnyomásváltozás és a relatív páratartalom változásai voltak. Az egyes időszakok hosszának vizsgálatakor megállapítottam, hogy minél rövidebb ideig tapasztalhatók stabil légköri körülmények, annál magasabb az esélye a COPD esetszámok növekedésének. Annak ellenére, hogy alacsony eséllyel növekszik a COPD esetszám ezen körülmények között (0,3%-1,9%) az eredmények statisztikai értelemben szignifikáns összefüggésekre mutatnak rá (21. ábra).

5.3.2. Az időjárás változékonyságának időbelisége és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat rétegzett elemzése nemek és korcsoportok szerint

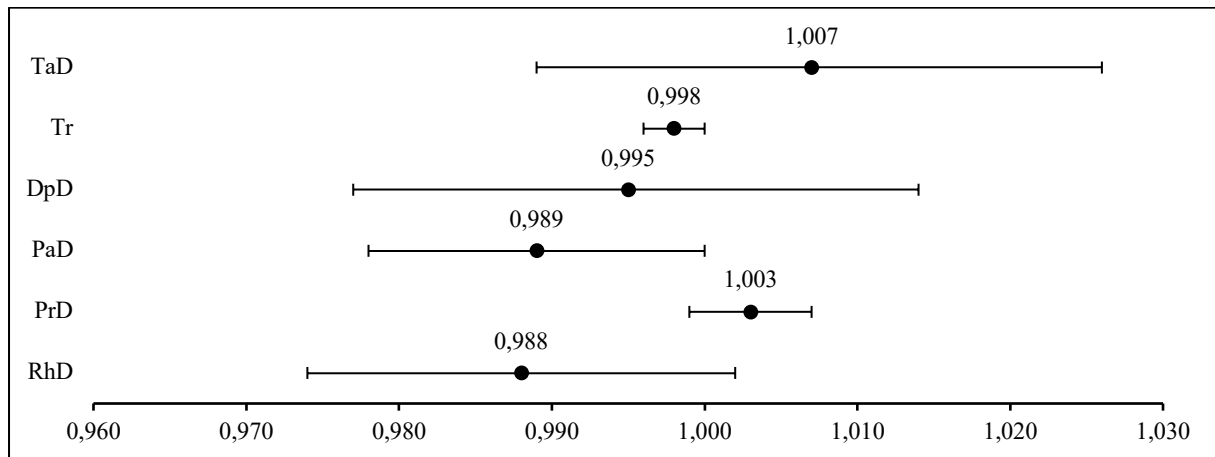
A vizsgálatot elvégeztem rétegezve is, hogy azonosíthassam nem hatását az időjárás változékonyságának időbelisége és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolatra. Az egyes időszakok hosszának vizsgálatakor megállapítottam, hogy minél rövidebb ideig tapasztalható stabil légnyomás, annál magasabb az esélye a férfi COPD esetszámok növekedésének (1,7%) (22. ábra). A női populációban statisztikailag szignifikáns eredményt nem volt tapasztalható egyik vizsgált paraméter esetében sem (23. ábra).



22. ábra. A meteorológiai paraméterek napi változásainak időtartama és a férfi COPD betegforgalom közötti kapcsolat esélyhányadosai (OR), valamint a hozzájuk tartozó 95%-os megbízhatósági intervallum (95%CI) (** $p < 0,01$).

Amikor a korcsoportok hatását vizsgáltam az időjárás változékonyságának időbelisége és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat tekintetében, akkor

megállapítottam, hogy nem tapasztalható statisztikailag szignifikáns összefüggés egyik vizsgált paraméter időbeliségének esetében sem.



23. ábra. A meteorológiai paraméterek napi változásainak időtartama és a női COPD betegforgalom közötti kapcsolat esélyhányodasai (OR), valamint a hozzájuk tartozó 95%-os megbízhatósági intervallum (95%CI).

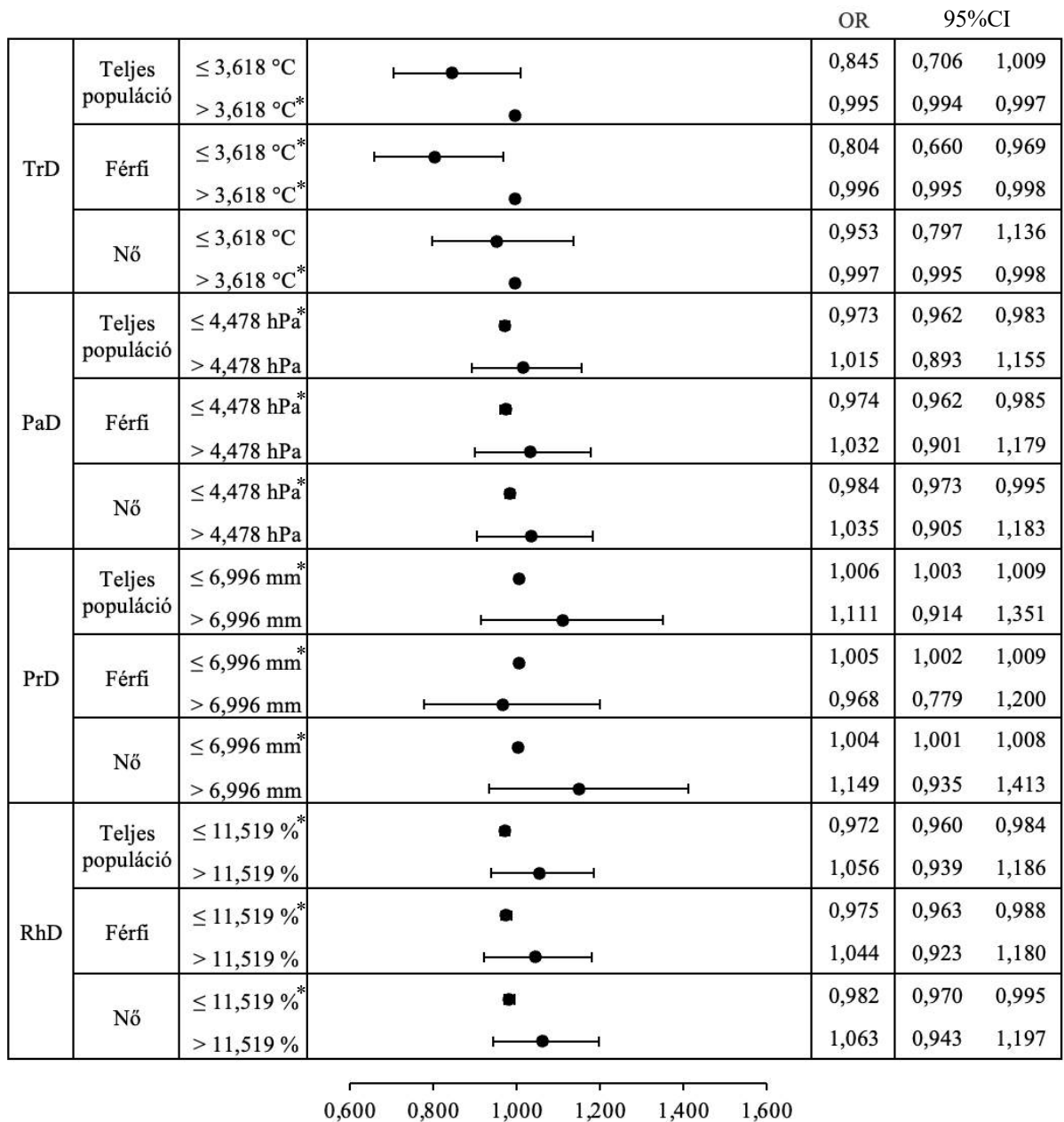
5.3.3. Az időjárás változékonyságának időbelisége, mértéke és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat

Dolgozatomban elemeztem azt is, hogy az időjárás változékonyságai mekkora mértékűek, milyen hosszúak, és ezek hogyan befolyásolják a COPD esetszámokat. A teljes populációt elemezve négy paraméter esetben találtam összefüggéseket. A napi hőingásváltozás esetében az látható, hogy amikor a változás mértéke meghaladta a 3,618 °C-ot, és minél rövidebb idő telt el ilyen változékonny környezetben, az esély a COPD esetszámok növekedésére 0,5%-kal növekedett. Hasonló kép látható a légnyomásváltozás és a relatív páratartalom-változás esetében is, azonban az esélyek itt már magasabbnak mondhatók: előbbi 2,7%, utóbbi 2,8% eséllyel növelte a COPD esetszámokat, amikor a változásuk mértéke nem haladta meg az egy szórásnyi különbséget és ezek az intervallumok rövidebbek voltak. Ugyanakkor ellentétes irányú összefüggések tapasztalhatók a csapadékmennyiség változásának esetében. Amikor a csapadékmennyiség-változás 6,996 mm-en belül volt, és ez az időszak hosszú ideig tartott, 0,6%-kal növekedett az esély, hogy több COPD esetet regisztráljanak (24. ábra). A hőmérséklet tekintetében ilyen jellegű összefüggéseket nem tudtam kimutatni.

5.3.4. Az időjárás változékonyságának időbelisége, mértéke és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat rétegzett elemzése nemek és korcsoportok szerint

Rétegzett elemzéssel arra tettem kísérletet, hogy megállapítsam, van-e különbség ezen paraméterek változékonyságának hatásaiban a nemek és korcsoportok között. A hőingás változás esetében alapvető különbséget mutattam ki: míg a magasabb női és férfi COPD esetszámok esélyét a rövid időtartam alatt bekövetkező, egy szórásnál nagyobb különbségű (3,618 °C) változások 0,3%, illetve 0,4%-kal növelték, addig a rövid időtartam alatt bekövetkező, egy szórásnál kisebb változások 19,6%-kal növelték az esélyét a magasabb számú férfi COPD eseteknek. A légnyomásváltozás és a relatív páratartalom-változás esetében a két nemre vonatkozó COPD esetszámok hasonló mértékű eséllyel emelkedtek, mint a teljes populációt vizsgálva: amikor a változásuk mértéke nem haladta meg az egy szórásnyi különbséget és ezek az intervallumok rövidebbek voltak, a női COPD esetek száma 1,6%, illetve 1,8%, a férfi COPD esetek száma 2,6%, illetve 2,5% eséllyel volt magasabb. A csapadékmennyiség-változás esetében, ahogyan a teljes populáció esetében, úgy a nemek között megvizsgálva is ugyan azt az ellentétes irányt látható, még hozzá hasonló mértékben: amikor egy szóráson belüli különbség volt megfigyelhető hosszú ideig, 0,4%-kal növekedett az esély, hogy több női COPD esetet regisztráljanak, míg a férfi COPD esetek tekintetében ez az esély 0,5% volt (24. ábra).

Amint azt korábban említettem, ezt a kapcsolatrendszerrel megvizsgáltam a korcsoportok tükrében is, azonban szignifikáns eltéréseket nem találtam sem a 67, vagy annál fiatalabbak, sem a 67 évnél idősebbek körében tapasztalt COPD esetszámok tükrében a teljes populációt jellemző COPD esetszámokhoz képest.



24. ábra. Az időjárás változékonyságának időbelisége, mértéke és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat esélyhányodasai (OR) a teljes, valamint a férfi és női populációban, illetve a hozzájuk tartozó 95%-os megbízhatósági intervallum (95%CI) (* $p < 0,05$).

6. Megbeszélés és következtetések

6.1. Az időjárási szélsőségek és a COPD-vel kapcsolatos látogatások

Dolgozatom eredményei alapján megállapítottam, hogy egyértelmű kapcsolat mutatkozik a szélsőségesen alacsony napi közép- ($-0,167$ °C alatti), maximum- ($2,922$ °C alatti), és minimum hőmérséklet ($-2,578$ °C alatti) értékei és az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások között. Ezek az időjárási helyzetek $27,5\%$ - $58,3\%$ -kal növelték az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások esélyét. Ezen túlmenően statisztikailag szignifikáns kapcsolatot sikerült kimutatni a harmatpont ($-3,333$ °C alatti) és a relatív páratartalom ($35,253\%$ alatti) extrém alacsony értékei és az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások között. Az eredményekből az olvasható ki, hogy az ilyen jellegű meteorológiai körülmények alkalmával $14,8\%$ - 95% közötti eséllyel következett be átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátás az adott napon. A legmagasabb esélyhányadost a légnyomás szélsőségesen magas ($1013,008$ hPa feletti) értékei, mint expozíció kapcsán mutattam ki: azokon a napokon, amikor ilyen légnyomási körülményeket figyeltem meg, az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások esélye $136,5\%$ -kal nőtt (18. ábra).

Munkám során megállapítottam, hogy a magas napi közép- ($23,444$ °C feletti), maximum- ($31,296$ °C feletti), és minimum hőmérséklet ($18,722$ °C feletti), valamint a magas harmatpont ($15,389$ °C feletti) értékek védőfaktorok bizonyultak az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátás szempontjából. Ezen időjárási helyzetek $23,4\%$ - $55,3\%$ -kal csökkenthetik az átlagosnál magasabb számú COPD-vel sürgősségi ellátással jellemezhető napok kockázatát (19. ábra).

Eredményeim összhangban vannak más, a hideg hőmérsékleti események és a légzőrendszeri betegségek, illetve a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások gyakorisága közötti összefüggést vizsgáló tanulmányokkal. Hasonló következtetéseket vont le egy szisztematikus áttekintés, amely arról számolt be, hogy a hidegnek tulajdonítható légzőrendszeri betegségteher $12,2\%$ volt a magas jövedelmű országokban, és $25,7\%$ a közepes jövedelmű országban [Cheng és mtsai., 2019a]. Egy szakirodalmi áttekintés az általa vizsgált kutatások adataiból egyértelműen megállapította, hogy az alacsonyabb hőmérséklet jelentős negatív hatással van a COPD-s betegek állapotára [Javorac és mtsai., 2021]. Dolgozatom eredményeihez hasonlóan egy kínai vizsgálatban a rendkívül alacsony napi középhőmérséklet

relatív kockázata a COPD-s kórházi felvételek esetében 1,55 volt [Zhang és mtsai., 2020]. Egy lengyel tanulmány szignifikáns negatív korrelációról számolt be a napi középhőmérséklet ($r = -0,577$), a minimum-hőmérséklet ($r = -0,526$) és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások számának növekedése között, $p < 0,01$ szignifikanciaszinten [Brzezińska-Pawłowska és mtsai., 2016].

A harmatpont tekintetében azonban korlátozott számú kutatás áll rendelkezésre. Az imént említett lengyel kutatás eredményei negatív korrelációról számoltak be a harmatpont és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások számának növekedése között ($r = -0,589$, $p < 0,01$) [Brzezińska-Pawłowska és mtsai., 2016]. Korábbi munkám feltárta már az összefüggést a szélsőségesen alacsony harmatpont és az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások között. Akkor csupán egy év adatai alapján, ugyanakkor hasonló mértékű esélyhányadost állapítottam meg ($OR = 1,795$) [Márovics és mtsai., 2022]. Eredményeimmel összhangban egy londoni kutatás bizonyította, hogy a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások jelentősen magasabb száma várható, amikor a relatív páratartalom értéke 40% alá esik [Islam és mtsai., 2017].

6.2. Az időjárás szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos látogatások összefüggéseinek rétegzett elemzése nemek és korcsoportok szerint

Az időjárás paraméterek szélsőséges értékei és az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások közötti kapcsolatot megvizsgáltam nemekre és korcsoportokra rétegezve is, hogy láthassam, van-e ezen attribútumoknak zavaró hatása, vagy esetleg módosítják a vizsgált meteorológiai paraméterek és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások kapcsolatára gyakorolt hatását. Az adatok alapján feltártam, hogy a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások többsége jellemzően idősebb a nem COPD-vel kapcsolatos panaszokkal felvett betegekhez képest, valamint, hogy a COPD-s betegek körében női dominancia figyelhető meg, csak úgy, mint a nem COPD-vel kapcsolatos panaszokkal felvett betegek körében (3. táblázat).

Hasonló megfigyelést tették Kínában is, hozzátevé, hogy a COPD-ben szenvedő női lakosság érzékenyebb lehet a hidegre [Zhang és mtsai., 2020]. Tajvanon egy tanulmány arról számolt be, hogy a 65 éves vagy annál idősebbek körében nagyobb a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi megjelenések kockázata, mint a 65 év alatti populáció esetében akkor, amikor hosszú ideig (>14 nap) tartósan alacsony marad a hőmérséklet [Tseng és mtsai., 2013]. Ezekkel az eredményekkel összhangban egy hongkongi vizsgálat kimutatta, hogy az alacsony

hőmérséklet hatása hosszabb ideig tartott, valamint, hogy az idősebb COPD-s betegek érzékenyebbek voltak rá [Lam és mtsai., 2018]. Egy nemrégiben végzett kínai vizsgálatban az alacsony hőmérsékletet, mint a COPD akut súlyosbodásának kockázati tényezőjét azonosították az idősebb betegek körében [Shen és mtsai., 2021].

Eredményeim alapján nem állapítható meg egyértelműen, hogy szélsőséges hideg időjárás és az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások közötti kapcsolatot befolyásolja a nem vagy az életkor.

6.3. Az időjárás napi változásainak szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat

Dolgozatom eredményei világossá teszik, hogy egyértelmű kapcsolat mutatkozik a szélsőséges napi közép- (legalább 4,055 °C-os lehülés, 2,693 °C-os felmelegedés), maximum- (legalább 9,111 °C-os lehülés), és minimum (legalább 3,722 °C-os felmelegedés) hőmérséklet-változás és az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások között. Ezen mértékű időjárás-változások 30,6% – 91,5%-kal növelték az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások esélyét. Ezen túlmenően statisztikailag szignifikáns kapcsolatot sikerült kimutatnom a harmatpont változásai (legalább 2,722 °C-os növekedés), a légnyomásváltozás (legalább 5,1 hPa-os csökkenés), valamint az átlagos szélesebbesség-változás (legalább 5,741 m/s-os csökkenés) és az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások között. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az ilyen mértékű változásokkal jellemezhető napokon 30,6%-66,1% közötti eséllyel következett be átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátás (20. ábra).

Munkám eredményei megerősítik más vizsgálatok következtéseit, többek között saját korábbi vizsgálatunk során is ezeket a következtetéseket vontuk le [Márovics és Girán, 2023]. Egy szisztematikus áttekintés és metaanalízis, hangsúlyozza, hogy minden egyes Celsius-foknyi hőmérséklet-csökkenés 4,93%-kal növeli a légzőrendszeri morbiditás esélyét [Bunker és mtsai., 2016]. Egy Texas-ban végzett kutatás igazolta, hogy a COPD-hez kapcsolódó sürgősségi ellátások esélye minden egyes Celsius-fokos csökkenéssel 3,3%-kal nő [Chen T.-H. és mtsai., 2019]. Tajvanon megfigyelték, hogy a hőmérséklet 1 °C-os csökkenése 0,8%-kal növelte a COPD exacerbációk arányát [Tseng és mtsai., 2013]. Barcelonában megfigyelték, hogy a téli időszak a COPD-s kórházi felvételek magasabb számával járt együtt és a heti középhőmérséklet minden egyes °C-os csökkenése a kórházi felvételek 4,7%-os növekedését eredményezte [Almagro és mtsai., 2015]. Eredményeim ellentmondanak egy Németországban

végzett kutatás eredményeivel, ahol azt találták, hogy a légnyomás emelkedése növeli a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások kockázatát [Ferrari és mtsai., 2012].

6.4. Az időjárás napi változásainak szélsőségei és a COPD-vel kapcsolatos látogatások közötti kapcsolatok rétegzett elemzése nemek és korcsoportok szerint

Az időjárási paraméterek szélsőséges mértékű napi változásai és az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások közötti kapcsolatot megvizsgáltam nemekre és korcsoportokra rétegezve is, hogy láthassam, van-e ezen attribútumoknak zavaró hatása, esetleg módosítják-e a vizsgált időjárási változások és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások kapcsolatára gyakorolt hatását. Eredményeim alapján nem bizonyítható egyértelműen, hogy szélsőséges mértékű időjárás-változás és az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátás közötti kapcsolatot befolyásolja a nem vagy az életkor.

Korábbi eredmények azt állapították meg, hogy a hőmérséklet minden 1 °C-os csökkenése a COPD miatti kórházi felvétel megnövekedett kockázata mutatható ki 75 évnél idősebb korcsoportban (RR=1,031, CI 95% [1,006-1,056]) [Sohail és mtsai., 2023]. Ezzel szemben egy Kantonban (Kína) végzett vizsgálat ellentmondásos eredményeket talált, és a férfiak, illetve a 0-64 évesek esetében magasabb relatív kockázatot mutatott ki 1°C-os hőmérséklet-emelkedés esetén [Zhan és mtsai., 2020].

6.5. Az időjárás változékonyságának időbelisége és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat

A COPD esetszámokat három olyan tényező befolyásolja, amelyek változásainak időbelisége fontos lehet: a napi hőingás változékonysága, a légnyomásváltozás és a relatív páratartalom változásai. Az egyes időszakok vizsgálata során kiderült, hogy minél rövidebb ideig stabilak a légköri körülmények – tehát változatos képet mutat az időjárás –, annál valószínűbb a COPD esetszámok növekedése. Annak ellenére, hogy alacsony (0,3%-1,9%) az esélye a COPD esetszám növekedésének ezen körülmények között, az eredmények statisztikai értelemben szignifikáns összefüggésekre utalnak (21. ábra).

A vizsgálatot rétegzett módon is elvégeztem annak érdekében, hogy azonosíthassam a nem hatását az időjárás változékonyságának időbeliségére és a COPD-hez kapcsolódó

sürgősségi látogatások közötti kapcsolatra. A különböző időszakok vizsgálata során megállapítottam, hogy minél rövidebb ideig stabil a légnyomás, annál valószínűbb a férfiak körében a COPD esetszámok növekedése (1,7%). A női populáció esetében egyetlen vizsgált paraméter esetében sem mutattam ki statisztikailag szignifikáns összefüggést (22. és 23. ábra).

Eredményeim összhangban vannak más, a légzőszervi betegségek és a napi hőingás közötti összefüggést feltáró tanulmányokkal [Lim és mtsai., 2012]. Egy Kínában végzett kutatás szerint a magasabb napi hőingás a COPD súlyosbodása miatti kórházi kezelések megnövekedett kockázatával járt együtt (RR=1,11, a *Tr* 75. percentiliséhez a 25. percentilishoz képest) [Wang és mtsai., 2020]. Egy vizsgálat J-alakú összefüggésről is beszámolt a napi hőingás és a COPD halálozás között, ahol a rendkívül magas napi hőingás 45%-kal növelte COPD mortalitás kockázatát [Gu és mtsai., 2022].

6.6. Az időjárás változékonyságának időbelisége, mértéke és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolat

Dolgozatomban megvizsgáltam, hogy az időjárás változékonyságának mértéke és időtartama hogyan befolyásolja a COPD esetszámokat. A teljes populációra vonatkozó elemzésben négy meteorológiai paraméter esetében sikerült összefüggéseket kimutatnom. A napi hőingásváltozás esetén észlelhető, hogy amikor a változás mértéke meghaladta a 3,618 °C-t, valamint e körülmény rövid ideig állt fenn, a COPD esetszámok növekedésének esélye 0,5%-kal emelkedett. Hasonló trendek figyelhetők meg a légnyomásváltozás és a relatív páratartalom-változás esetében is, ellenben itt az esélyek magasabbak: előbbi esetben 2,7%, utóbbi esetben pedig 2,8% az esély arra, hogy több COPD esetet regisztráljanak a sürgősségi osztályon, amikor a változások mértéke nem haladja meg az egy szórásnyi különbséget, és az intervallumok rövidek. Ellenkező irányú összefüggéseket azonosítottam a csapadékmennyiség-változásával kapcsolatban. Amikor a csapadékmennyiség-változása 6,996 mm-nél kevesebb volt, és ezen körülmény hosszú ideig fennállt, a COPD esetszámok növekedésének esélye 0,6%-kal emelkedett (24. ábra). Hőmérséklet tekintetében ilyen jellegű összefüggéseket nem azonosítottam.

A rétegzett elemzés során arra törekedtem, hogy kiderítsem, van-e különbség a nemek közötti hatásokban ezekben a paraméterek változékonyságára vonatkozóan. A hőingásváltozás esetében alapvető különbségeket tapasztaltam: míg a magasabb női és férfi COPD esetszámok esélyét a rövid idő alatt bekövetkező, egy szórásnál nagyobb különbségű (3,618 °C) változások 0,3%, illetve 0,4%-kal, addig a rövid idő alatt bekövetkező, egy szórásnál kisebb változások

19,6%-kal növelték a férfiak körében magasabb számú COPD esetek esélyét. A légnyomásváltozás és a relatív páratartalom-változás esetében a két nemre vonatkozó COPD esetszámok hasonló mértékű emelkedést mutattak, mint a teljes populáció esetében: amikor a változásuk mértéke nem haladta meg az egy szórásnyi különbséget, és az intervallumok rövidebbek voltak, a női COPD esetek száma 1,6%, illetve 1,8%-os eséllyel, a férfi COPD esetek száma pedig 2,6%, illetve 2,5%-os eséllyel volt magasabb. A csapadékmennyiség-változás esetében, a teljes populációval összehangban a nemek között is hasonló kapcsolat figyelhető meg, még hozzá hozzávetőlegesen ugyanakkora mértékben: amikor egy szóráson belüli különbség hosszú ideig megfigyelhető volt, a női COPD esetek számának növekedésének esélye 0,4%, míg a férfi COPD esetek tekintetében ez az esély 0,5% volt (24. ábra).

Eredményeim összehangban vannak a korábbi vizsgálatokkal, amelyek a COPD-s férfi betegek körében a napi hőingásra való nagyobb érzékenységet jelezték. Korábbi munkám során hasonló bizonyítékokat találtam a napi hőingás és a harmatpont-változás férfi COPD-s betegre rótt kockázatával kapcsolatban [Márovics és mtsai., 2024.]. Egy Kínában végzett vizsgálat arról számolt be, hogy az óránkénti hőmérséklet-változás minden 1 °C-os növekedése esetén 4,6%-kal nőtt a napi COPD-s kórházi felvételek száma a férfiak körében [Zhan és mtsai., 2020]. Emellett egy másik kínai vizsgálat is hangsúlyozta a férfi betegek érzékenységét a hőmérséklet-változásra a COPD-vel kapcsolatos kórházi ellátások tekintetében [Tian és mtsai., 2021]. Ezek a tanulmányok férfi túlsúlyt mutatnak, ami azt eredményezheti, hogy a férfiak érzékenyebbnak tűnnek ezekkel az időjárási változásokkal szemben. Ellentmondásos eredményeket közöltek egy olyan tanulmányban, ami a napi hőingás változásait vizsgálta. Eredményeik a napi hőingás 1 °C-os emelkedését magasabb COPD-kórházi kockázathoz kötötte, különösen a nők esetében (RR=1,051) [Ma és mtsai., 2018].

Munkám során nem találtam egyértelmű bizonyítékokat arra, hogy az életkor befolyásolja az időjárás változékonyságának mértéke és az adott időszakok hossza, valamint a COPD esetszámok megnövekedett mértéke közötti kapcsolatot. Korábbi tanulmányoknak sikerül kimutatni ilyen jellegű életkor-befolyást, amelyek szerint a fiatalabb betegek érzékenyebbek a napi hőingásra és a hőmérséklet-változásokra az idősebb egyénekhez képest [Zhan és mtsai., 2020 és Tian és mtsai., 2021]. Egy Közép-Európából származó kutatás eredményei azt mutatták, hogy a légzőszervi betegségekben szenvedő fiatalabb populációk érzékenyebbek mind a hideg-, mind a hőhatásra [Rai és mtsai., 2023]. Hasonló következtetéseket vontak le egy Kínában végzett idősoros elemzésből, amely szerint a 65 éves vagy annál fiatalabb egyének érzékenyebbek a hőmérséklet-változásokra [Zhang és mtsai., 2020]. Egy 2018-as hongkongi tanulmány U alakú összefüggést talált a relatív páratartalom és a COPD-s kórházi felvételek

között az idősek körében [Lam és mtsai., 2018]. Korábbi tanulmányok arról számoltak be, hogy a férfiak és a fiatalabb egyének fokozottan érzékenyek a napi hőingás hatásaira [Zhan és mtsai., 2020 és Tian és mtsai., 2021]. Egy bangkoki vizsgálat azonban nem talált nemhez vagy életkorhoz kapcsolódó különbségeket a légzőszervi kórházi felvételek tekintetében, amelyek a magas napi hőingáshoz kapcsolódnak [Phosri és mtsai., 2020]. Ezzel szemben egy kínai multicentrikus vizsgálat a női és férfi COPD-s betegeknél, valamint a különböző korcsoportoknál hasonló kockázatot jelzett, amikor magas napi hőingásnak vannak kitéve [Wang és mtsai., 2020]. A korábbi eredményekkel való összehasonlítás keretében arra következtethetünk, hogy a megfigyelt kockázati különbségek valószínűleg a vizsgált populációk eltérő szerkezetéből adódtak.

6.7. Következtetések

Összefoglalva elmondható, hogy bizonyos szélsőséges időjárási körülmények, illetve szélsőséges mértékű időjárás-változások tekintetében eredményeim csaknem kétszeres esélyt jeleztek a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások magasabb számára. Ezen eredmények hangsúlyozzák, hogy a szélsőséges időjárási körülmények idején és az időjárás szélsőséges váltakozásakor a COPD-vel kapcsolatos esetek jelentősen magasabb morbiditási terhet rónak a pécsi SBO-ra. Különös tekintettel kell lenni a napi hőingás mértékére is, ami bizonyítottan emeli a férfiak körében a COPD-hez köthető sürgősségi ellátások esélyét. A COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások kockázatának növekedését okozó tényezők összetettek és valószínűleg több tényező kombinációjából erednek. A szélsőségesen hideg hőmérséklet stresszt okozhat a légzőrendszernek, ami gyulladáshoz és légúti szűkülethez vezethet. Ez a COPD-ben szenvedőknél légzési nehézségeket és exacerbációt okozhat. Az alacsony harmatpont száraz levegőt jelent, ami irritálhatja a légúti nyálkahártyát és fokozhatja a köhögést és a légszomjat. A magas légnyomás nehezítheti a légzést a COPD-ben szenvedők számára. A szél segít eltávolítani a szennyező anyagokat és a pollent a levegőből, ezért szélcsend esetén ezek felhalmozódhatnak, ami súlyosbíthatja a COPD tüneteit. A már említett meteorológiai paraméterek változékonysága szintén terheli a légzőrendszert, még hozzá oly módon, hogy hatásait egyértelműen ki lehet mutatni.

Dolgozatom eredményei hangsúlyozzák az időjárás-előrejelzések felhasználásának fontosságát a sürgősségi osztályok kapacitásának tervezéséhez. Az olyan időjárási helyzeteket és időjárás-változásokat figyelembe véve, amelyek megnövekedett kockázatot jelenthetnek bizonyos betegségek, például a COPD esetében, a sürgősségi betegellátó kapacitást tervezők

megalapozott döntéseket hozhatnak a személyzet elosztásáról, végső soron javítva a betegek ellátásának minőségét. Az egészségügyi tervezés a pénzügyi források optimális elosztása szempontjából is fontos, mivel például Franciaországban 2007 és 2015 között 15,48%-kal nőtt a COPD-s kórházi felvételek száma, ami a COPD-s kórházi kezelések összköltségének 12,6%-os növekedéséhez vezetett ebben az időszakban (602 millió euróról 678 millió euróra) [Molinari és mtsai., 2016]. Emellett a COPD-s betegeket kezelő háziorvosok és más egészségügyi szolgáltatók a meteorológiai információkat felhasználhatják arra, hogy felvilágosítják betegeiket bizonyos időjárási helyzetek betegségük tüneteire gyakorolt lehetséges hatásairól. A prevenció és információátadás értékes eszköze lehet egy olyan webalapú alkalmazás kifejlesztése is, amely figyelmeztetést és útmutatást nyújt a COPD-s betegeknek a kedvezőtlen időjárási események idején, csakúgy, ahogyan azt egyébként az Egyesült Királyságban is teszik [Bakerly és mtsai., 2011].

A megelőzés fontos eszköze lehet például a vízi torna, ami bizonyítottan javítja a FEV1 és FVC eredményeket [Benzo-Iglesias és mtsai., 2023], illetve a balneoterápia is, amiről elmondható, hogy a kénben gazdag víz inhalálása javítja a COPD-s betegek általános állapotát, az ismételt hideg vizes stimulációk és a szaunázás pedig csökkentik a fertőzések kockázatát [Khaltaev és mtsai., 2020].

7. Új eredmények

- A harmatpont szélsőségesen alacsony, $-3,333$ °C alatti értékeivel jellemezhető napok 76,2%-95% közötti eséllyel eredményeztek átlagon felüli COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátást.
- A légnyomás szélsőségesen magas, 1013,008 hPa feletti értékeivel jellemezhető napokon akár 136,5%-kal nagyobb eséllyel következett be átlagon felüli COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátás.
- Amikor a harmatpont napi növekedése szélsőségesen nagy mértékű volt, legalább 2,722 °C-os, 30,6% volt az esélye, hogy átlagon felüli COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátást regisztráljanak.
- Azokon a napokon, amikor a légnyomás napról napra csökkent, és ez a csökkenés meghaladja a 5,1 hPa-t, az esély, hogy átlagosnál több COPD-vel kapcsolatos ellátás történjen 42,3%-50,1% között alakult.
- Amikor egyik napról a másikra az átlagos szélesség legalább 5,741 m/s-mal csökkent, az esély, hogy átlagosnál több COPD-vel kapcsolatos ellátás történjen 34,1%-66,1% között alakult.
- Amikor a légnyomásváltozás és a relatív páratartalom-változás mértéke nem haladta meg az egy szórásnyi különbséget, és az intervallumok rövidek voltak, 2,7%-2,8% volt az esélye, hogy több COPD-vel kapcsolatos esetet regisztráljanak a sürgősségi osztályon.
- A rövid időn belül bekövetkező, legfeljebb 3,618 °C-os hőingásváltozás 19,6%-kal növelte annak az esélyét, hogy több COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátást regisztráljanak a sürgősségi osztályon a férfiak körében.

8. Saját közlemények listája

Jelen dolgozat alapjául szolgáló folyóiratcikkek:

Kiss, T.; Leitold, C.; **Márovics, G. P.**; Zentai, T.; Baczur, R.; Girán, J. The First Steps to Develop a Monitoring-Based Method to Support the Sustainable Mosquito Control in an Urban Environment in Hungary. SUSTAINABILITY 2020, 12. <https://doi.org/10.3390/su12125013>. [IF: 3,251; Q2]

Márovics, G. P.; Girán, J. A szélsőséges időjárás-változás és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások kapcsolata. Egészségtudomány 2024, 1. Közlésre elfogadva: 2023.12.30.

Márovics, G. P.; Pozsgai, É.; Németh, B.; Czigány, S.; Németh-Simon, S.; Girán, J. How Vulnerable Are Patients with COPD to Weather Extremities? – A Pilot Study from Hungary. Healthcare (Basel) 2022, 10 (11), 2309. <https://doi.org/10.3390/healthcare10112309>. [IF: 2,8; Q2]

Márovics, G. P.; Pozsgai, É.; Németh, B.; Czigány, S.; Soós, S.; Németh-Simon, S.; Girán, J. Weather Variability and COPD: A Risk Estimation Identified a Vulnerable Sub-population in Hungary. In Vivo 2024, Vol. 38 Issue 2. Közlésre elfogadva: 2024.03.25. [IF: 2,406; Q2]

Molnár, F. J.; Rendeki, M.; Rendeki, S.; Nagy, B.; Bacher, V.; Bogár, P. Z.; Schlégl, Á. T.; Koltai, A.; Maróti, P.; **Márovics, G. P.** Validation of 3D Printed MAYO Tubes and Stethoscope in Simulated Medical Environment – Tools Fabricated with Additive Manufacturing for Emergency Care. HELIYON 2023, 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20866>. [IF: 4,0; Q1]

A dolgozat alapjául szolgáló folyóiratcikkek összesített impakt faktora: 12,851

Jelen dolgozat alapjául szolgáló előadások:

Márovics, G. P.; Girán, J. Az időjárás egészségmódosító hatásainak vizsgálata Pécs példáján. XIV. NKE Konferencia Szeged, 2021.08.26-27.

Márovics, G. P.; Girán, J. The Effects of Daily Air Pressure Change on COPD Patients of Department of Emergency Medicine. 10th Jubilee Interdisciplinary Doctoral Conference. Pécs, Magyarország, 2021.11.12-13.

Márovics, G. P.; Girán, J. Az időjárás néhány paraméterének hatása a COPD morbiditásra. V. Orvosmeteorológiai Konferencia Budapest, 2021.12.09-10.

Egyéb közlemények:

Girán, J.; **Márovics, G. P.** Település-egészségtan. In *Megelőző orvostan és népegészségtan*; Ádány, R., Kiss, I., Paulik, E., Sándor, J., Ungvári, Z. I., Eds.; Medicina Könyvkiadó Zrt.: Budapest, 2023; pp 405–409.

Kecskes, G.; Szabo, A.; Sutori, D.; Maróti, P.; **Márovics, G. P.**; Molnár, F. T. Pneumothorax/Pneumomediastinum and Pre-Existing Lung Pathology in Ventilated COVID-19 Patients: A Cohort Study. *JOURNAL OF THORACIC DISEASE* 2022, 14, 4733–4740. <https://doi.org/10.21037/jtd-22-817>.

Márovics, G. P. Az Egészségtervezés És Az Egészségfejlesztési Tervezés Módszereinek Közös Pontjai És Különbségei. *EGÉSZSÉGFEJLESZTÉS* 2019, 1, 4–8.

Nemeth, M.; Ternák, G.; Rozanovic, M.; **Márovics, G. P.**; Bogar, L. Antibiotic Consumption Patterns in European Countries Show Association with Obesity Prevalence; A Possible Clue to the Origin of the Obesity Pandemic, 2022. <https://m2.mtmt.hu/api/publication/33591421>.

Rozanovic, M.; Domokos, K.; **Márovics, G. P.**; Rohonczy, M.; Csontos, C.; Bogár, L.; Rendeki, S.; Kiss, T.; Rozanovic, M. N.; Loibl, C. Can We Predict Critical Care Mortality with Non-Conventional Inflammatory Markers in SARS-CoV-2 Infected Patients? *CLINICAL HEMORHEOLOGY AND MICROCIRCULATION* 2023, 84, 71–82. <https://doi.org/10.3233/CH-231697>.

Sándor-Bajusz, K. A.; Kraut, A.; Baasan, O.; **Márovcics, G. P.**; Berényi, K.; Lohner, S. Publication of Clinical Trials on Medicinal Products: Follow-up on Trials Authorized in Hungary. TRIALS 2022, 23. <https://doi.org/10.1186/s13063-022-06268-y>.

Ternák, G.; Berényi, K.; **Márovcics, G. P.**; Sümegi, A.; Fodor, B.; Németh, B.; Kiss, I. Dominant Antibiotic Consumption Patterns Might Be Associated With the Prevalence of Multiple Sclerosis in European Countries. IN VIVO 2020, 34, 3467–3472. <https://doi.org/10.21873/invivo.12186>.

Ternák, G.; Berényi, K.; Németh, B.; Szenczi, Á. I.; **Márovcics, G. P.**; Kiss, I. Association of Antibiotic-Consumption Patterns with the Prevalence of Hematological Malignancies in European Countries. SCIENTIFIC REPORTS 2022, 12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11569-y>.

Ternák, G.; **Márovcics, G. P.**; Sümegi, K.; Bánfai, Z.; Büki, G.; Magyar, L.; Szabó, A.; Melegh, B. Down-Syndrome-Related Maternal Dysbiosis Might Be Triggered by Certain Classes of Antibiotics: A New Insight into the Possible Pathomechanisms. ANTIBIOTICS 2023, 12. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12061029>.

Ternák, G.; Németh, M. F.; Rozanovic, M.; **Márovcics, G. P.**; Bogár, L. Antibiotic Consumption Patterns in European Countries Are Associated with the Prevalence of Parkinson’s Disease; the Possible Augmenting Role of the Narrow-Spectrum Penicillin. ANTIBIOTICS 2022, 11. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11091145>.

Ternák, G.; Németh, M. F.; Rozanovic, M.; **Márovcics, G. P.**; Bogár, L. “Growth-Promoting Effect” of Antibiotic Use Could Explain the Global Obesity Pandemic: A European Survey. ANTIBIOTICS 2022, 11. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11101321>.

Kumulatív impakt faktor: 41,106

Független hivatkozások összesen: 9

9. Irodalomjegyzék

Allen, M. J.; Lee, C. C. Investigating High Mortality during the Cold Season: Mapping Mean Weather Patterns of Temperature and Pressure. *Theor Appl Climatol* 2014, 118 (3), 419–428. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-1075-x>.

Almagro, P.; Hernandez, C.; Martinez-Cambor, P.; Tresserras, R.; Escarrabill, J. Seasonality, Ambient Temperatures and Hospitalizations for Acute Exacerbation of COPD: A Population-Based Study in a Metropolitan Area. *COPD* 2015, 899. <https://doi.org/10.2147/COPD.S75710>.

an der Heiden, M.; Muthers, S.; Niemann, H.; Buchholz, U.; Grabenhenrich, L.; Matzarakis, A. Heat-Related Mortality. *Dtsch Arztebl Int* 2020, 117 (37), 603–609. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2020.0603>.

Bakerly, N. D.; Roberts, J. A.; Thomson, A. R.; Dyer, M. The Effect of COPD Health Forecasting on Hospitalisation and Health Care Utilisation in Patients with Mild-to-Moderate COPD. *Chron Respir Dis* 2011, 8 (1), 5–9. <https://doi.org/10.1177/1479972310388950>.

Battista, G.; de Lieto Vollaro, R. Correlation between Air Pollution and Weather Data in Urban Areas: Assessment of the City of Rome (Italy) as Spatially and Temporally Independent Regarding Pollutants. *Atmospheric Environment* 2017, 165, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.06.050>.

Benzo-Iglesias, M. J.; Rocamora-Pérez, P.; Valverde-Martínez, M. Á.; García-Luengo, A. V.; López-Liria, R. Effectiveness of Water-Based Exercise in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Systematic Review and Meta-Analysis. *Sensors (Basel)* 2023, 23 (20), 8557. <https://doi.org/10.3390/s23208557>.

Brzezińska-Pawłowska, O. E.; Rydzewska, A. D.; Łuczyńska, M.; Majkowska-Wojciechowska, B.; Kowalski, M. L.; Makowska, J. S. Environmental Factors Affecting Seasonality of Ambulance Emergency Service Visits for Exacerbations of Asthma and COPD. *Journal of Asthma* 2016, 53 (2), 139–145. <https://doi.org/10.3109/02770903.2015.1075547>.

Bunker, A.; Wildenhain, J.; Vandenberg, A.; Henschke, N.; Rocklöv, J.; Hajat, S.; Sauerborn, R. Effects of Air Temperature on Climate-Sensitive Mortality and Morbidity Outcomes in the Elderly; a Systematic Review and Meta-Analysis of Epidemiological Evidence. *EBioMedicine* 2016, 6, 258–268. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2016.02.034>.

Chen, J.; Yang, J.; Zhou, M.; Yin, P.; Wang, B.; Liu, J.; Chen, Z.; Song, X.; Ou, C.-Q.; Liu, Q. Cold Spell and Mortality in 31 Chinese Capital Cities: Definitions, Vulnerability and Implications. *Environ Int* 2019, 128, 271–278. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.049>.

Chen, R.; Yin, P.; Wang, L.; Liu, C.; Niu, Y.; Wang, W.; Jiang, Y.; Liu, Y.; Liu, J.; Qi, J.; You, J.; Kan, H.; Zhou, M. Association between Ambient Temperature and Mortality Risk and Burden: Time Series Study in 272 Main Chinese Cities. *BMJ* 2018, 363, k4306. <https://doi.org/10.1136/bmj.k4306>.

Chen, T.-H.; Du, X. L.; Chan, W.; Zhang, K. Impacts of Cold Weather on Emergency Hospital Admission in Texas, 2004–2013. *Environmental Research* 2019, 169, 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.031>.

Cheng, J.; Xu, Z.; Bambrick, H.; Prescott, V.; Wang, N.; Zhang, Y.; Su, H.; Tong, S.; Hu, W. Cardiorespiratory Effects of Heatwaves: A Systematic Review and Meta-Analysis of Global Epidemiological Evidence. *Environmental Research* 2019a, 177, 108610. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108610>.

Cheng, J.; Xu, Z.; Bambrick, H.; Su, H.; Tong, S.; Hu, W. Impacts of Exposure to Ambient Temperature on Burden of Disease: A Systematic Review of Epidemiological Evidence. *Int J Biometeorol* 2019b, 63 (8), 1099–1115. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01716-y>.

Davis, R. E.; Markle, E. S.; Windoloski, S.; Houck, M. E.; Enfield, K. B.; Kang, H.; Balling, R. C.; Kuehl, D. R.; Burton, J. H.; Farthing, W.; Rubio, E. R.; Novicoff, W. M. A Comparison of the Effect of Weather and Climate on Emergency Department Visitation in Roanoke and Charlottesville, Virginia. *Environmental Research* 2020, 191, 110065. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110065>.

de'Donato, F. K.; Leone, M.; Noce, D.; Davoli, M.; Michelozzi, P. The Impact of the February 2012 Cold Spell on Health in Italy Using Surveillance Data. *PLOS ONE* 2013, 8 (4), e61720. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061720>.

de'Donato, F.; Leone, M.; Analitis, A.; Paldy, A.; Lanki, T.; Gasparrini, A.; Pascal, M.; Astrom, C.; Ballester, F.; Basagana, X.; Michelozzi, P. Temporal Variations in the Effect Heat and Cold, by Age Group and Cause of Death in 9 European Cities. *ISEE Conference Abstracts 2014*, 2014 (1), 2000. <https://doi.org/10.1289/isee.2014.O-094>.

Dimitrova, A.; Ingole, V.; Basagaña, X.; Ranzani, O.; Milà, C.; Ballester, J.; Tonne, C. Association between Ambient Temperature and Heat Waves with Mortality in South Asia: Systematic Review and Meta-Analysis. *Environment International* 2021, 146, 106170. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106170>.

Donaldson, G.; Wedzicha, J. The Causes and Consequences of Seasonal Variation in COPD Exacerbations. *COPD* 2014, 1101. <https://doi.org/10.2147/COPD.S54475>.

Feng, F.; Ma, Y.; Zhang, Y.; Shen, J.; Wang, H.; Cheng, B.; Jiao, H. Effects of Extreme Temperature on Respiratory Diseases in Lanzhou, a Temperate Climate City of China. *Environ Sci Pollut Res* 2021, 28 (35), 49278–49288. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14169-x>.

Feng, X.; Li, Q.; Zhu, Y.; Hou, J.; Jin, L.; Wang, J. Artificial Neural Networks Forecasting of PM_{2.5} Pollution Using Air Mass Trajectory Based Geographic Model and Wavelet Transformation. *Atmospheric Environment* 2015, 107, 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.02.030>.

Ferrari, U.; Exner, T.; Wanka, E. R.; Bergemann, C.; Meyer-Arne, J.; Hildenbrand, B.; Tufman, A.; Heumann, C.; Huber, R. M.; Bittner, M.; Fischer, R. Influence of Air Pressure, Humidity, Solar Radiation, Temperature, and Wind Speed on Ambulatory Visits Due to Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Bavaria, Germany. *Int J Biometeorol* 2012, 56 (1), 137–143. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0405-x>.

Gasparrini, A.; Guo, Y.; Hashizume, M.; Lavigne, E.; Zanobetti, A.; Schwartz, J.; Tobias, A.; Tong, S.; Rocklöv, J.; Forsberg, B.; Leone, M.; De Sario, M.; Bell, M. L.; Guo, Y.-L. L.; Wu,

C.; Kan, H.; Yi, S.-M.; de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M.; Saldiva, P. H. N.; Honda, Y.; Kim, H.; Armstrong, B. Mortality Risk Attributable to High and Low Ambient Temperature: A Multicountry Observational Study. *Lancet* 2015, 386 (9991), 369–375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0).

Giamello, J. D.; Melchio, R.; Bertolaccini, L.; Caraccio, P.; Rendina, C.; Lauria, G. Climatic Factors Influence on Emergency Department Visits. *Hong Kong Journal of Emergency Medicine* 2022, 29 (5), 323–324. <https://doi.org/10.1177/10249079221092897>.

Global Burden of Disease Study 2019. Institute for Health Metrics and Evaluation. <https://vizhub.healthdata.org/gbd-results> (hozzáférve 2023.06.01).

Goldstein, I. F. Interaction of Air Pollution and Weather in Their Effects on Health. *HSMHA Health Rep* 1972, 87 (1), 50–55.

Gold Reports 2023. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease - GOLD. <https://goldcopd.org/gold-reports/> (hozzáférve 2023.06.01).

Gu, S.; Wang, X.; Mao, G.; Huang, X.; Wang, Y.; Xu, P.; Wu, L.; Lou, X.; Chen, Z.; Mo, Z. The Effects of Temperature Variability on Mortality in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Time-Series Analysis in Hangzhou, China. *Environ Sci Pollut Res* 2022, 29 (47), 71502–71510. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20588-1>.

Guo, Y.; Gasparrini, A.; Armstrong, B. G.; Tawatsupa, B.; Tobias, A.; Lavigne, E.; Coelho, M. de S. Z. S.; Pan, X.; Kim, H.; Hashizume, M.; Honda, Y.; Guo, Y.-L. L.; Wu, C.-F.; Zanobetti, A.; Schwartz, J. D.; Bell, M. L.; Scortichini, M.; Michelozzi, P.; Punnasiri, K.; Li, S.; Tian, L.; Garcia, S. D. O.; Seposo, X.; Overcenco, A.; Zeka, A.; Goodman, P.; Dang, T. N.; Dung, D. V.; Mayvaneh, F.; Saldiva, P. H. N.; Williams, G.; Tong, S. Heat Wave and Mortality: A Multicountry, Multicommunity Study. *Environ Health Perspect* 2017, 125 (8), 087006. <https://doi.org/10.1289/EHP1026>.

Hajat, S.; Kosatky, T. Heat-Related Mortality: A Review and Exploration of Heterogeneity. *Journal of Epidemiology & Community Health* 2010, 64 (9), 753–760. <https://doi.org/10.1136/jech.2009.087999>.

Han, J.; Liu, S.; Zhang, J.; Zhou, L.; Fang, Q.; Zhang, J.; Zhang, Y. The Impact of Temperature Extremes on Mortality: A Time-Series Study in Jinan, China. *BMJ Open* 2017, 7 (4), e014741. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-014741>.

Hansel, N. N.; McCormack, M. C.; Kim, V. The Effects of Air Pollution and Temperature on COPD. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease* 2016, 13 (3), 372–379. <https://doi.org/10.3109/15412555.2015.1089846>.

Hoffmann, C.; Hanisch, M.; Heinsohn, J. B.; Dostal, V.; Jehn, M.; Liebers, U.; Pankow, W.; Donaldson, G. C.; Witt, C. Increased Vulnerability of COPD Patient Groups to Urban Climate in View of Global Warming. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2018, 13, 3493–3501. <https://doi.org/10.2147/COPD.S174148>.

Hu, X.; Tao, J.; Zheng, H.; Ding, Z.; Cheng, J.; Shen, T. Impact of Cold Spells on COPD Mortality in Jiangsu Province, China. *Environ Sci Pollut Res* 2023, 30 (3), 6048–6054. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22387-0>.

Ikäheimo, T. M.; Jokelainen, J.; Näyhä, S.; Laatikainen, T.; Jousilahti, P.; Laukkanen, J.; Jaakkola, J. J. K. Cold Weather-Related Cardiorespiratory Symptoms Predict Higher Morbidity and Mortality. *Environmental Research* 2020, 191, 110108. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110108>.

Islam, M. S.; Chaussalet, T. J.; Koizumi, N. Towards a Threshold Climate for Emergency Lower Respiratory Hospital Admissions. *Environmental Research* 2017, 153, 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.11.011>.

Javorac, J.; Jevtić, M.; Živanović, D.; Ilić, M.; Bijelović, S.; Dragić, N. What Are the Effects of Meteorological Factors on Exacerbations of Chronic Obstructive Pulmonary Disease? *Atmosphere* 2021, 12 (4), 442. <https://doi.org/10.3390/atmos12040442>.

Khaltayev, N.; Solimene, U.; Vitale, F.; Zanasi, A. Balneotherapy and Hydrotherapy in Chronic Respiratory Disease. *J Thorac Dis* 2020, 12 (8), 4459–4468. <https://doi.org/10.21037/jtd-gard-2019-009>.

Kingsley, S. L.; Eliot, M. N.; Gold, J.; Vanderslice, R. R.; Wellenius, G. A. Current and Projected Heat-Related Morbidity and Mortality in Rhode Island. *Environ Health Perspect* 2016, 124 (4), 460–467. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408826>.

Kiss, T.; Leitöl, C.; Márovics, G. P.; Zentai, T.; Baczur, R.; Girán, J. The First Steps to Develop a Monitoring-Based Method to Support the Sustainable Mosquito Control in an Urban Environment in Hungary. *SUSTAINABILITY* 2020, 12. <https://doi.org/10.3390/su12125013>.

Korányi Bulletin. Országos Korányi Pulmonológiai Intézet. 2023, 1. <https://heyzine.com/flip-book/d280e3fd6d.html> (hozzáférve 2023.11.16).

Központi Statisztikai Hivatal Demográfiai Évkönyv. Központi Statisztikai Hivatal. 2020. <https://www.ksh.hu/polc> (hozzáférve 2023.11.16).

Lam, H. C.; Chan, E. Y.; Goggins, W. B. Comparison of Short-Term Associations with Meteorological Variables between COPD and Pneumonia Hospitalization among the Elderly in Hong Kong—a Time-Series Study. *Int J Biometeorol* 2018, 62 (8), 1447–1460. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1542-2>.

Lei, J.; Chen, R.; Yin, P.; Meng, X.; Zhang, L.; Liu, C.; Qiu, Y.; Ji, J. S.; Kan, H.; Zhou, M. Association between Cold Spells and Mortality Risk and Burden: A Nationwide Study in China. *Environ Health Perspect* 2022, 130 (2), 27006. <https://doi.org/10.1289/EHP9284>.

Li, M.; Gu, S.; Bi, P.; Yang, J.; Liu, Q. Heat Waves and Morbidity: Current Knowledge and Further Direction—A Comprehensive Literature Review. *IJERPH* 2015, 12 (5), 5256–5283. <https://doi.org/10.3390/ijerph120505256>.

Liang, W.-M.; Liu, W.-P.; Kuo, H.-W. Diurnal Temperature Range and Emergency Room Admissions for Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Taiwan. *Int J Biometeorol* 2009, 53 (1), 17–23. <https://doi.org/10.1007/s00484-008-0187-y>.

Lim, Y.-H.; Hong, Y.-C.; Kim, H. Effects of Diurnal Temperature Range on Cardiovascular and Respiratory Hospital Admissions in Korea. *Science of The Total Environment* 2012, 417–418, 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.12.048>.

Luan, G.; Yin, P.; Wang, L.; Zhou, M. Association between Ambient Temperature and Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Population-Based Study of the Years of Life Lost. *International Journal of Environmental Health Research* 2019, 29 (3), 246–254. <https://doi.org/10.1080/09603123.2018.1533533>.

Ma, C.; Yang, J.; Nakayama, S. F.; Iwai-Shimada, M.; Jung, C.-R.; Sun, X.-L.; Honda, Y. Cold Spells and Cause-Specific Mortality in 47 Japanese Prefectures: A Systematic Evaluation. *Environ Health Perspect* 2021, 129 (6), 067001. <https://doi.org/10.1289/EHP7109>.

Ma, W.; Xu, X.; Peng, L.; Kan, H. Impact of Extreme Temperature on Hospital Admission in Shanghai, China. *Science of The Total Environment* 2011, 409 (19), 3634–3637. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.042>.

Ma, Y.; Zhou, L.; Chen, K. Burden of Cause-Specific Mortality Attributable to Heat and Cold: A Multicity Time-Series Study in Jiangsu Province, China. *Environment International* 2020, 144, 105994. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105994>.

Ma, Y.; Zhao, Y.; Zhou, J.; Jiang, Y.; Yang, S.; Yu, Z. The Relationship between Diurnal Temperature Range and COPD Hospital Admissions in Changchun, China. *Environ Sci Pollut Res* 2018, 25 (18), 17942–17949. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2013-3>.

Ma, Y.; Zhou, J.; Yang, S.; Yu, Z.; Wang, F.; Zhou, J. Effects of Extreme Temperatures on Hospital Emergency Room Visits for Respiratory Diseases in Beijing, China. *Environ Sci Pollut Res* 2019, 26 (3), 3055–3064. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3855-4>.

Marno, P.; Bryden, C.; Bird, W.; Watkin, H. A. How Different Measures of Cold Weather Affect Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) Hospital Admissions in London. *European Respiratory Review* 2006, 15 (101), 185–186. <https://doi.org/10.1183/09059180.00010126>.

Márovics, G. P.; Girán, J. A szélsőséges időjárás-változás és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások kapcsolata. *Egészségtudomány* 2024, 1. Közlésre elfogadva: 2023.12.30.

Márovics, G.; Pozsgai, É.; Németh, B.; Czigány, S.; Németh-Simon, S.; Girán, J. How Vulnerable Are Patients with COPD to Weather Extremities? – A Pilot Study from Hungary. *Healthcare (Basel)* 2022, 10 (11), 2309. <https://doi.org/10.3390/healthcare10112309>.

Márovics, G. P.; Pozsgai, É.; Németh, B.; Czigány, S.; Soós, S.; Németh-Simon, S.; Girán, J. Weather Variability and COPD: A Risk Estimation Identified a Vulnerable Sub-population in Hungary. *In Vivo* 2024. Vol. 38 Issue 2. Közlésre elfogadva: 2024.03.25.

Michelozzi, P.; Accetta, G.; De Sario, M.; D'Ippoliti, D.; Marino, C.; Baccini, M.; Biggeri, A.; Anderson, H. R.; Katsouyanni, K.; Ballester, F.; Bisanti, L.; Cadum, E.; Forsberg, B.; Forastiere, F.; Goodman, P. G.; Hojs, A.; Kirchmayer, U.; Medina, S.; Paldy, A.; Schindler, C.; Sunyer, J.; Perucci, C. A. High Temperature and Hospitalizations for Cardiovascular and Respiratory Causes in 12 European Cities. *Am J Respir Crit Care Med* 2009, 179 (5), 383–389. <https://doi.org/10.1164/rccm.200802-217OC>.

Molinari, N.; Chanez, P.; Roche, N.; Ahmed, E.; Vachier, I.; Bourdin, A. Rising Total Costs and Mortality Rates Associated with Admissions Due to COPD Exacerbations. *Respir Res* 2016, 17 (1), 149. <https://doi.org/10.1186/s12931-016-0469-6>.

Molnár, F. J.; Rendeki, M.; Rendeki, S.; Nagy, B.; Bacher, V.; Bogár, P. Z.; Schlégl, Á. T.; Koltai, A.; Maróti, P.; Márovics, G. P. Validation of 3D Printed MAYO Tubes and Stethoscope in Simulated Medical Environment – Tools Fabricated with Additive Manufacturing for Emergency Care. *HELIYON* 2023, 9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20866>.

Páldy, A.; Bobvos, J.; Vámos, A.; Kovats, R. S.; Hajat, S. The Effect of Temperature and Heat Waves on Daily Mortality in Budapest, Hungary, 1970 – 2000. In *Extreme Weather Events and Public Health Responses*; Kirch, W., Bertollini, R., Menne, B., Eds.; Springer-Verlag: Berlin/Heidelberg, 2005; pp 99–107. https://doi.org/10.1007/3-540-28862-7_10.

Pascal, M.; Wagner, V.; Corso, M.; Laaidi, K.; Ung, A.; Beaudeau, P. Heat and Cold Related-Mortality in 18 French Cities. *Environment International* 2018, 121, 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.049>.

Petkova, E. P.; Dimitrova, L. K.; Sera, F.; Gasparrini, A. Mortality Attributable to Heat and Cold among the Elderly in Sofia, Bulgaria. *Int J Biometeorol* 2021, 65 (6), 865–872. <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02064-y>.

Péczely, Gy. Éghajlattan. Tankönyvkiadó, Budapest, 1979. pp. 11-35.

Phosri, A.; Sihabut, T.; Jaikanlaya, C. Short-Term Effects of Diurnal Temperature Range on Hospital Admission in Bangkok, Thailand. *Sci Total Environ* 2020, 717, 137202. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137202>.

Pleijel, H.; Grundström, M.; Karlsson, G. P.; Karlsson, P. E.; Chen, D. A Method to Assess the Inter-Annual Weather-Dependent Variability in Air Pollution Concentration and Deposition Based on Weather Typing. *Atmospheric Environment* 2016, 126, 200–210. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.053>.

Ponjoan, A.; Blanch, J.; Alves-Cabratos, L.; Martí-Lluch, R.; Comas-Cufí, M.; Parramon, D.; del Mar Garcia-Gil, M.; Ramos, R.; Petersen, I. Effects of Extreme Temperatures on Cardiovascular Emergency Hospitalizations in a Mediterranean Region: A Self-Controlled Case Series Study. *Environmental Health* 2017, 16 (1), 32. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0238-0>.

Rai, M.; Breitner, S.; Huber, V.; Zhang, S.; Peters, A.; Schneider, A. Temporal Variation in the Association between Temperature and Cause-Specific Mortality in 15 German Cities. *Environmental Research* 2023, 229, 115668. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115668>.

Sama, S. R.; Kriebel, D.; Gore, R. J.; DeVries, R.; Rosiello, R. Environmental Triggers of COPD Symptoms: A Case Cross-over Study. *BMJ Open Respir Res* 2017, 4 (1), e000179. <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2017-000179>.

Shen, Y.; Zhang, X.; Chen, C.; Lin, Q.; Li, X.; Qu, W.; Liu, X.; Zhao, L.; Chang, S. The Relationship between Ambient Temperature and Acute Respiratory and Cardiovascular Diseases in Shenyang, China. *Environ Sci Pollut Res* 2021, 28 (16), 20058–20071. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11934-2>.

Sohail, H.; Kollanus, V.; Tiittanen, P.; Mikkonen, S.; Lipponen, A. H.; Zhang, S.; Breitner, S.; Schneider, A.; Lanki, T. Low Temperature, Cold Spells, and Cardiorespiratory Hospital Admissions in Helsinki, Finland. *Air Qual Atmos Health* 2023, 16 (2), 213–220. <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01259-z>.

Son, J.-Y.; Bell, M. L.; Lee, J.-T. The Impact of Heat, Cold, and Heat Waves on Hospital Admissions in Eight Cities in Korea. *Int J Biometeorol* 2014, 58 (9), 1893–1903. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0791-y>.

Song, G.; Chen, G.; Jiang, L.; Zhang, Y.; Zhao, N.; Chen, B.; Kan, H. Diurnal Temperature Range as a Novel Risk Factor for COPD Death. *Respirology* 2008, 13 (7), 1066–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2008.01401.x>.

Song, X.; Wang, S.; Hu, Y.; Yue, M.; Zhang, T.; Liu, Y.; Tian, J.; Shang, K. Impact of Ambient Temperature on Morbidity and Mortality: An Overview of Reviews. *Science of The Total Environment* 2017, 586, 241–254. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.212>.

Song, X.; Wang, S.; Li, T.; Tian, J.; Ding, G.; Wang, J.; Wang, J.; Shang, K. The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Respiratory Emergency Department Visits in Beijing, China. *Sci Total Environ* 2018, 615, 1499–1505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.108>.

Tian, H.; Zhou, Y.; Wang, Z.; Huang, X.; Ge, E.; Wu, S.; Wang, P.; Tong, X.; Ran, P.; Luo, M. Effects of High-Frequency Temperature Variabilities on the Morbidity of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Evidence in 21 Cities of Guangdong, South China. *Environ Res* 2021, 201, 111544. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111544>.

Tseng, C.-M.; Chen, Y.-T.; Ou, S.-M.; Hsiao, Y.-H.; Li, S.-Y.; Wang, S.-J.; Yang, A. C.; Chen, T.-J.; Perng, D.-W. The Effect of Cold Temperature on Increased Exacerbation of Chronic

Obstructive Pulmonary Disease: A Nationwide Study. *PLoS ONE* 2013, 8 (3), e57066. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057066>.

Ulpiani, G.; Duhirwe, P. N.; Yun, G. Y.; Lipson, M. J. Meteorological Influence on Forecasting Urban Pollutants: Long-Term Predictability versus Extreme Events in a Spatially Heterogeneous Urban Ecosystem. *Science of The Total Environment* 2022, 814, 152537. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152537>.

Wang, Z.; Zhou, Y.; Luo, M.; Yang, H.; Xiao, S.; Huang, X.; Ou, Y.; Zhang, Y.; Duan, X.; Hu, W.; Liao, C.; Zheng, Y.; Wang, L.; Xie, M.; Tang, L.; Zheng, J.; Liu, S.; Wu, F.; Deng, Z.; Tian, H.; Peng, J.; Wang, X.; Zhong, N.; Ran, P. Association of Diurnal Temperature Range with Daily Hospitalization for Exacerbation of Chronic Respiratory Diseases in 21 Cities, China. *Respir Res* 2020, 21, 251. <https://doi.org/10.1186/s12931-020-01517-7>.

Wellenius, G. A.; Eliot, M. N.; Bush, K. F.; Holt, D.; Lincoln, R. A.; Smith, A. E.; Gold, J. Heat-Related Morbidity and Mortality in New England: Evidence for Local Policy. *Environmental Research* 2017, 156, 845–853. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.02.005>.

World Health Organization (WHO), Chronic obstructive pulmonary disease (COPD). [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-\(copd\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd)) (hozzáférve 2023.11.05).

Ye, X.; Wolff, R.; Yu, W.; Vaneckova, P.; Pan, X.; Tong, S. Ambient Temperature and Morbidity: A Review of Epidemiological Evidence. *Environ Health Perspect* 2012, 120 (1), 19–28. <https://doi.org/10.1289/ehp.1003198>.

Zhan, Z.-Y.; Tian, Q.; Chen, T.-T.; Ye, Y.; Lin, Q.; Han, D.; Ou, C.-Q. Temperature Variability and Hospital Admissions for Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Analysis of Attributable Disease Burden and Vulnerable Subpopulation. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2020, 15, 2225–2235. <https://doi.org/10.2147/COPD.S260988>.

Zhang, H.; Wang, Y.; Park, T.-W.; Deng, Y. Quantifying the Relationship between Extreme Air Pollution Events and Extreme Weather Events. *Atmospheric Research* 2017, 188, 64–79. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.11.010>.

Zhang, Y.; Liu, X.; Kong, D.; Fu, J.; Liu, Y.; Zhao, Y.; Lian, H.; Zhao, X.; Yang, J.; Fan, Z. Effects of Ambient Temperature on Acute Exacerbations of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Results from a Time-Series Analysis of 143318 Hospitalizations. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2020, 15, 213–223. <https://doi.org/10.2147/COPD.S224198>.

Zou, J.; Sun, T.; Song, X.; Liu, Y.-M.; Lei, F.; Chen, M.-M.; Chen, Z.; Zhang, P.; Ji, Y.-X.; Zhang, X.-J.; She, Z.-G.; Cai, J.; Luo, Y.; Wang, P.; Li, H. Distributions and Trends of the Global Burden of COPD Attributable to Risk Factors by SDI, Age, and Sex from 1990 to 2019: A Systematic Analysis of GBD 2019 Data. *Respir Res* 2022, 23, 90. <https://doi.org/10.1186/s12931-022-02011-y>.

10. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőmnek, Dr. Girán János egyetemi adjunktusnak a PhD tanulmányaim során nyújtott szakmai útmutatást, segítséget és lelkiismeretes munkáját, valamint azt, hogy mindig kiváló tanácsnokkal látott el.

Hálásan köszönöm Prof. Dr. Kiss Istvánnak a megelőlegezett bizalmat, és azt, hogy lehetőséget adott szakmai karrierem kibontakozásának, valamint, hogy hiteles példát állított számomra emberi, tudományos és szakmai szinten egyaránt.

Köszönettel és hálával tartozom a PTE ÁOK Orvosi Népegészségtani Intézet minden munkatársának, kiváltképp Dr. Németh Baláznak és Dr. Berényi Károlynak, akik ötleteikkel, meglátásaikkal segítettek a munkámat és megannyi kérdésben számíthattam rájuk, továbbá szeretném megköszönni Dr. Pozsgai Éva szaknyelvi lektorálásban nyújtott segítségét és Böszné Dr. Murányi Edit támogatását.

Köszönetet szeretnék mondani disszertációm alapjául szolgáló közleményekben közreműködő szerzőtársaimnak, Dr. Németh-Simon Szilviának, Dr. Soós Szilviának és Dr. Czigány Szabolcsnak. Külön köszönet jár Dr. Kanizsai Péternek, illetve a PTE TTK Földrajzi Intézet munkatársainak a támogatásért.

Nem tudok elég hálás lenni feleségemnek, Faisal Fatimának, aki az elmúlt években véget nem érő türelemmel támogatott, minden helyzetben mellettem állt, segített, biztatott és a legnehezebb pillanatokban sem engedte feladni. Köszönöm édesanyámnak, Paluska Andreának, édesapámnak, Márovics Lászlónak, testvéremnek, Márovics Ádámnak, és nagymamámnak, Horváth Gizellának, hogy egész életemben támogattak és mindig számíthattam rájuk, ők alapozták meg a tanulmányaimhoz vezető utat. Hálás vagyok továbbá családom minden tagjának, többek között Dr. Faisal Zelmának és Györgyi Erzsébetnek.

Végül, de nem utolsó sorban köszönettel tartozom barátaimnak, kiváltképp Horváth Zsoltnak, Major Leventének, Hatvani Péternek, Homlok Dánielnek, valamint Dr. Maróti Péternek, aki a szakmai támogatása mellett barátként is mellettem állt.

A dolgozat elkészítéséhez nagyban hozzájárultak a TUDFO/51757-1/2019-ITM (Tématerületi Kiválósági Program) és 2021-2-HU01-KA220-HED-000050972 (ClimateMed Erasmus+) kódjelű projektek.

11. Mellékletek

```
#!/bin/bash
folder="/yyy/ttk"
for file in "$folder"/*.txt; do
  if [[ -f "$file" ]]; then
    encoding=$(file -b --mime-encoding "$file")
    if [[ "$encoding" != "utf-8" ]]; then
      iconv -f "$encoding" -t utf-8 "$file" -o "${file%.txt}.utf8.txt"
      mv "${file%.txt}.utf8.txt" "$file"
    fi
  fi
done
```

1.a melléklet. A bash script, ami az adatok karakterkódolását UTF-8 kódolásra állítja.

```
#!/bin/bash
directory="/yyy/ttk"
extension=".txt"
find "$directory" -type f -name "*$extension" -exec sed -i 's/;/g' {} +
find "$directory" -type f -name "*$extension" -exec sed -i 's/./g' {} +
find "$directory" -type f -name "*$extension" -exec sed -i 's\^\./g' {} +
```

1.b. melléklet. A bash script, ami megváltoztatja a határoló-, és a tizedes elválasztó karaktereket.

```
#!/bin/bash
directory="/yyy/ttk"
excel_file="/yyy/ttk/converted_files.xlsx"
extension=".csv"
if [ -f "$excel_file" ]; then
  rm "$excel_file"
fi
for file in "$directory"/*"$extension"; do
  if [ ! -f "$excel_file" ]; then
    echo "Filename">"$excel_file"
  fi
  filename=$(basename "$file")
  sed "1i $filename" "$file">>"$excel_file"
done
```

1.c. melléklet. A bash script, ami a módosított .txt fájllokból .xlsx fájlokat készít.

```

Sub SzamolAtlagMinMaxHaMindenDatum()
    Dim adatsor As Range
    Dim datum As Date
    Dim hely As Range
    Dim atlagEredmeny As Variant
    Dim maxEredmeny As Variant
    Dim minEredmeny As Variant
    Dim celula As Range
    Set adatsor =Range("A2:U44641") ' Az adatsor tartománya
    Set hely =Range("G2:G44641") ' A kiszámolandó átlag, maximum és minimum tartománya
    For Each datum In Range("2010.01.01", "2010.01.31")
        atlagEredmeny =SzamolAtlagHaFuggveny(adatsor, datum, hely)
        maxEredmeny =Application.WorksheetFunction.MaxIf(hely, adatsor.Columns(4), datum)
        minEredmeny =Application.WorksheetFunction.MinIf(hely, adatsor.Columns(4), datum)
        Set celula =Cells(Rows.Count, "AA").End(xlUp).Offset(1, 0)
        celula.Value =atlagEredmeny
        Set celula =Cells(Rows.Count, "AB").End(xlUp).Offset(1, 0)
        celula.Value =maxEredmeny
        Set celula =Cells(Rows.Count, "AC").End(xlUp).Offset(1, 0)
        celula.Value =minEredmeny
    Next datum
End Sub

Function SzamolAtlagHaFuggveny(adatsor As Range, nap As Date, hely As Range) As Variant
    Dim sum As Double
    Dim count As Double
    Dim i As Long
    sum =0
    count =0
    For i =1 To adatsor.Rows.Count
        If adatsor.Cells(i, 4).Value =nap Then
            sum =sum + hely.Cells(i, 1).Value
            count =count + 1
        End If
    Next i
    If count>0 Then
        SzamolAtlagHaFuggveny =sum / count
    Else
        SzamolAtlagHaFuggveny ="N/A"
    End If
End Function

```

2.a. melléklet. A percenkénti meteorológiai adatokból napi adatokat létrehozó VBA makró.

```

Sub Foprogram()
    Dim ws As Worksheet
    Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Munka1")
    Dim dataRange As Range
    Set dataRange = ws.Range("A2:U3653")
    ws.Cells(1, 4).Value = "dtr_std"
    ws.Cells(1, 5).Value = "dtr_dur"
    Dim consecutiveZeros As Integer
    Dim maxConsecutiveZeros As Integer
    Dim foundConsecutiveZeros As Boolean
    Dim row As Range
    Dim dtr_std As Integer
    Dim dtr_dur As Integer
    Dim prev_dtr_std As Integer
    Dim dtr_dur_max As Integer
    For Each row In dataRange.Rows
        If row.Cells(1, 1).Value > -3.62 And row.Cells(1,
1).Value < 3.62 Then
            dtr_std = 1
        Else
            dtr_std = 0
        End If
        If prev_dtr_std = dtr_std Then
            dtr_dur = dtr_dur + 1
        Else
            dtr_dur = 1
        End If
        row.Cells(1, 4).Value = dtr_std
        row.Cells(1, 5).Value = dtr_dur
        If dtr_std = 0 Then
            consecutiveZeros = consecutiveZeros + 1
            If consecutiveZeros = 1 Then
                foundConsecutiveZeros = True
            End If
        Else
            If foundConsecutiveZeros Then
                maxConsecutiveZeros
                = WorksheetFunction.Max(ws.Range("V" & row.Row -
consecutiveZeros & ":V" & row.Row - 1))
                ws.Range("W" & row.Row - consecutiveZeros
& ":W" & row.Row - 1).Value = maxConsecutiveZeros
            End If
            consecutiveZeros = 0
            foundConsecutiveZeros = False
        End If
        If dtr_std = 0 Then
            dtr_dur_max
            = Application.WorksheetFunction.Max(ws.Range("V1:V3
653" & row.Row))
            row.Cells(1, 5).Value = dtr_dur_max
        End If
        If dtr_std = 1 Then
            dtr_dur_max
            = Application.WorksheetFunction.Max(ws.Range("V1:V3
653" & row.Row))
            row.Cells(1, 5).Value = dtr_dur_max
        End If
        prev_dtr_std = dtr_std
    Next row
    If foundConsecutiveZeros Then
        maxConsecutiveZeros
        = WorksheetFunction.Max(ws.Range("V" & row.Row -
consecutiveZeros & ":V" & row.Row - 1))
        ws.Range("W" & row.Row - consecutiveZeros &
":W" & row.Row - 1).Value = maxConsecutiveZeros
    End If
End Sub

```

2.b. melléklet. Az egymást követő napok időjárásváltozását meghatározó VBA makró (a példában a hőingásra vonatkozó számítások láthatók).

	Ta(°C)	Tmx(°C)	Tmn(°C)	Pr(mm)	Dp(°C)	Pa(hPa)	Ws(m/s)	Rh(%)	TaD(°C)	TmxD(°C)	Tmnd(°C)	TrD(°C)	PrD(mm)	DpD(°C)	PaD(hPa)	WsD(m/s)	RhD(%)	
Átlag	12,037	16,620	8,371	1,973	6,283	994,713	10,566	54,594	-0,002	-0,002	0,000	9,190	-0,005	0,000	0,032	-0,002	0,007	
Medián	12,417	17,156	8,656	0,000	6,611	994,338	9,630	52,360	0,167	0,222	-0,111	9,425	0,000	0,222	-0,090	0,000	-0,556	
Szórás	8,780	9,932	8,546	5,514	7,118	7,267	4,546	16,046	2,310	3,274	2,428	3,619	6,997	2,380	4,478	4,782	11,519	
Minimum	-12,556	-10,778	-17,000	0,000	-20,278	967,860	1,111	18,020	-11,833	-16,167	-10,889	1,000	-83,312	-12,792	-33,900	-23,891	-45,298	
Maximum	30,500	38,222	24,000	83,312	21,056	1052,800	37,596	98,818	9,389	11,611	12,444	19,500	79,248	9,389	59,900	24,076	50,339	
Percentilis	1.	-6,987	-4,736	-10,000	0,000	-10,285	977,320	3,148	25,459	-6,782	-9,111	-5,864	1,500	-23,510	-7,018	-10,592	-12,779	-28,764
	5.	-2,222	0,000	-5,094	0,000	-5,694	983,000	5,000	31,840	-4,056	-6,000	-3,830	3,000	-8,283	-4,278	-6,827	-8,149	-19,291
	10.	-0,167	2,922	-2,578	0,000	-3,333	986,026	5,926	35,253	-2,833	-4,222	-2,900	4,000	-3,810	-3,056	-5,100	-5,741	-13,922
	90.	23,444	29,111	18,722	6,096	15,389	1004,000	16,520	78,635	2,693	3,722	3,000	13,667	3,810	2,722	5,298	5,741	14,558
	95.	25,278	31,297	21,000	10,922	16,667	1007,200	19,446	83,960	3,494	5,000	4,000	14,611	8,632	3,611	7,301	7,593	20,121
	99.	27,987	34,474	29,777	28,194	18,644	1013,009	25,635	90,953	5,278	7,389	6,389	16,389	23,622	5,615	11,616	13,149	31,365

3. melléklet. Az időjárási paraméterek leíró statisztikája és a szélsőséges időjárási körülmények meghatározásához használt határértékek.

	TaD(°C)	t (nap)	TrD(°C)	t (nap)	DpD(°C)	t (nap)	PaD(hPa)	t (nap)	PrD(mm)	t (nap)	RhD(%)	t (nap)
Átlag	≤2,310	4,496	≤3,618	1,685	≤2,380	4,483	≤4,478	4,496	≤6,996	17,836	≤11,519	5,14
	>2,310	1,467	>3,618	30,253	>2,380	1,46	>4,478	1,467	>6,996	1,637	>11,519	1,576
Medián	≤2,310	3	≤3,618	1	≤2,380	3	≤4,478	3	≤6,996	11	≤11,519	3
	>2,310	1	>3,618	16	>2,380	1	>4,478	1	>6,996	1	>11,519	1
Szórás	≤2,310	4,269	≤3,618	1,158	≤2,380	4,283	≤4,478	4,269	≤6,996	19,864	≤11,519	5,594
	>2,310	0,886	>3,618	36,245	>2,380	0,811	>4,478	0,886	>6,996	0,813	>11,519	0,976
Minimum	≤2,310	1	≤3,618	1	≤2,380	1	≤4,478	1	≤6,996	1	≤11,519	1
	>2,310	1	>3,618	1	>2,380	1	>4,478	1	>6,996	1	>11,519	1
Maximum	≤2,310	27	≤3,618	7	≤2,380	32	≤4,478	27	≤6,996	124	≤11,519	40
	>2,310	8	>3,618	177	>2,380	6	>4,478	8	>6,996	5	>11,519	8

4. melléklet. Az időjárási paraméterek változásához tartozó határértékek és az egyes időszakok hosszához tartozó leíró statisztika.

Article

The First Steps to Develop a Monitoring-Based Method to Support the Sustainable Mosquito Control in an Urban Environment in Hungary

Tibor Kiss ^{1,2,*}, Csaba Leitöl ^{1,2}, Gergely Márovics ^{1,3}, Tímea Zentai ^{1,4}, Roland Baczur ^{1,5} 
and János Girán ^{1,3} 

¹ Smart City Technologies Research Group, Faculty of Engineering and Information Technology, University of Pécs, Boszorkány u. 2, 7624 Pécs, Hungary; leitol.csaba@mik.pte.hu (C.L.); gergely.marovics@aok.pte.hu (G.M.); zentai.timea@biokom.hu (T.Z.); baczur.roland@ktk.pte.hu (R.B.); janos.giran@aok.pte.hu (J.G.)

² Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering and Information Technology, University of Pécs, Boszorkány u. 2, 7624 Pécs, Hungary

³ Department of Public Health, Medical School, University of Pécs, Szigeti u. 12, 7624 Pécs, Hungary

⁴ Biokom Urban Management Nonprofit Ltd., Siklósi u. 52, 7632 Pécs, Hungary

⁵ Doctoral School in Regional Policy and Economics, Faculty of Business and Economics, University of Pécs, Rákóczi u. 80, 7622 Pécs, Hungary

* Correspondence: kiss.tibor@mik.pte.hu

Received: 19 May 2020; Accepted: 17 June 2020; Published: 19 June 2020



Abstract: In Europe, several exotic *Aedes* species, such as *Aedes albopictus*, *Aedes egypti*, *Aedes japonicas* and *Aedes koreicus*, have become established. Mosquito-borne infection has also become a rising public health issue in Europe. This study aims to present the results of the first Hungarian systematic mosquito monitoring (SMM) operating in an urban environment in the city of Pécs. It also explains the implementation of a targeted mosquito control by the development of a mosquito map with the SMM approach, thus contributing to a reduction of the risks of mosquito-borne diseases. The mosquito trapping started in 2015, and the traps were Center for Disease Control (CDC) equipment. Based on the data of the SMM, an urban mosquito data set was developed. It consisted of the data of 441 trappings, and the data were statistically analyzed. The results show that three influencing factors impacted mosquito population: distance from running water, built-up density and average temperature had a causal impact on the average number of mosquitoes of an urban area. Each of these factors showed direct impact, and the impact intensified with the combination of the three factors. On that basis, it was made clear which areas of the city mosquito control activity should be focused. Areas of the city where interventions of lower intensity may be necessary compared to the intensity of the earlier mosquito control measures could also be determined. Compared to the previous practice, in which the entire city was involved in intensive mosquito control, now the intensive larviciding is advised to be applied in 42.1% of the total residential areas of the city. Thus, mosquito control of lower intensity could also be sufficient in the remaining 57.9% of the city area. This resource reallocation based on planning can boost the efficiency of the control and lead to a positive change towards sustainability regarding reduced pressure on the environment and reduced expenses of protection.

Keywords: data analysis; GIS; multi-sectoral approach; urban health; urban management; strategic planning

1. Background

The majority of people now live in urban areas and will do so for the foreseeable future [1]. At the same time, urban lifestyle increases the risk of chronic diseases [2], lifestyle-related health concerns [3] as well as the risk of infectious diseases [4]. Health risks caused by the impact of climate change appear to be a new threat especially affecting those living in an urban environment [5]. Accordingly, the desire to create an urban environment ensuring healthy and safe living conditions is becoming even more pressing both at the local and global level. The importance of this task is underlined among others by the objectives of Goal 3 (SDG Goal 3: Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages) and Goal 11 (SDG Goal 11: Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable) of the Sustainable Development Goals 2030, which encourage the creation of a healthy and resilient urban environment and the protection of the health of people living in the cities [6].

Special attention should be paid to infectious diseases among the health risks of the urban environment. The large number of inhabitants and high population density of cities, the significant volume of interpersonal interactions and the large-scale coverage of built-up areas can contribute to the rapid spread of diseases interacting with each other [7,8]. Such circumstances are ideal for the spread of vector-borne diseases because competent vectors can easily transmit pathogens from one person to another person [9]. Not surprisingly, nearly 80% of humanity is exposed to the risk of vector-borne diseases. The extent of human exposure is well indicated by the fact that 17% of the global burden of diseases is caused by infectious diseases, and more than 700,000 deaths per year are linked to vector-borne diseases [10].

Furthermore, there is increasing evidence that the average temperature rise caused by climate change and also the change in the amount and distribution of precipitation in the European region can lead to the establishment of several invasive mosquito species that can transmit new diseases or diseases already regarded as eliminated [11]. An additional risk arises from the fact that the local mosquito stocks can also become competent in transmitting the new pathogens; thus, the epidemic-like spread of diseases previously not typical in the given area may cause a real hazard [12]. It is extremely difficult to anticipate the risks that the mediation of the vectors can pose regarding the known and newly emerging diseases. New diseases are expected to appear from time to time. Recent events, with the emergence of the COVID-19 pandemic, have also proven this notion. There is a reason to expect that the *Aedes* mosquitoes may have a role in the transmission of pathogens of newly emerging diseases. As regards the preventive tasks, all measures can contribute to the solution to the problem that would decrease risks by targeted measures to reduce diseases caused by mosquitoes and other vectors [13].

In order to reduce the risks of the mosquito-borne diseases and the possible epidemics caused, it is an absolute priority to establish efficient monitoring and surveillance systems and to apply sustainable mosquito control solutions globally [13]. In Europe, a number of exotic species, such as *Aedes albopictus*, *Aedes aegypti*, *Aedes japonicus* and *Aedes koreicus* have become established. These species have a high vectorial capacity for chikungunya, dengue and yellow fever viruses and more than twenty other arboviruses. The mosquito-borne West Nile virus infections of humans are currently one of the major public health concerns in Europe. Thus, the public health importance of mosquitoes in Europe is on the rise as well [14]. Nevertheless, according to the resolution of the Hungarian Academy of Sciences published in 2018, a comprehensive state-level mosquito monitoring and surveillance system in Hungary has not been established yet [15].

2. Introduction

In Hungary, the first data related to mosquito monitoring activities were recorded in the 1870s. At that time, the species of *Culex pipiens* was studied. Subsequently, the detailed country-wide mapping of the different mosquito species took place from time to time until the 2010s [16]. Systematic mosquito monitoring (SMM) operated only in the period of 2013–2014, targeted at the Lake Balaton region and concentrating on the invasive species transmitting the pathogens of the West Nile virus [17]. On the

other hand, Pécs, the fourth largest city of Hungary (with 143,000 inhabitants) was the first municipality in the country to have SMM in an urban environment, which was applied to the whole territory of the city in 2015.

The main objective of SMM in Pécs is to support the planning and implementation of sustainable mosquito control activities in the city. A relevant objective of the SMM is to contribute to the assessment of epidemiological risk and the following risk mitigation. It also supports the establishment of the measurement of effectiveness and efficiency of the mosquito control activities based on the collected data. As a start, a joint operation was established among Biokom Nonprofit Ltd. as the local service provider of urban management; the Virological Research Group; Szentágothai Research Centre of Pécs, a part of the University of Pécs (UP) and the Smart City Technologies Research Group of UP. Biokom Nonprofit Ltd is owned by the municipality of Pécs, whose tasks include, among others, the maintenance of the city's public premises, roads and green areas, as well as the performance of the tasks of local extermination of pests and mosquito control. The Department of Public Health of the Medical School of UP joined the working group in 2018.

The benefits of SMM were apparent by the second year; during the period of mosquito trapping, mosquitoes of the *A. koreicus* species were captured in the area of the city [18]. *A. koreicus* mosquito is an invasive species that can potentially be competent in spreading the diseases *Dirofilaria immitis*, *Dirofilaria repens*, *Brugia malayi*, Japanese encephalitis virus and chikungunya virus [19]. Since the first observation in Pécs, it has been confirmed that the species of *A. koreicus* has established in the southern part of Hungary, where Pécs is situated [20].

The establishment of *A. koreicus* within the city is a good example to show that the widespread mosquito control strategy in Hungary focusing on adulticiding of imagoes is far less suitable than the strategy focusing on larviciding [12]. For the adulticiding of imagoes, aerial spraying used to be the most widespread solution to mosquito control in Hungary for a long period of time. However, this method has only a short term effect, and it has a low level of effectiveness [21]. A further problem is that this control strategy is based on the aerial spraying of waste areas. Thereby, the used chemicals can cause several negative spill-over effects. These can include the mortality of bees, other pollinating insects and aquatic life as well as the additional environmental impact caused by the carrier dispensed together with the toxicant [22]. Moreover, this procedure can even pose a risk to human health in the absence of a targeted application of toxins. Accordingly, the usage of biocidal products was banned by the Chief Public Health Officer of Hungary in 2019. The regulations of the Chief Public Health Officer concerning the ban on the use of biocidal products were laid down alongside the Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council as well as the Regulation 528/2012/EU of the European Parliament and Council concerning the marketing and use of biocidal products. The transition to mosquito control based on non-chemical processes preferred in other European countries has therefore been necessary. Since these solutions focus mainly on larviciding, their effective application presupposes the precise delimitation of their breeding areas [12].

The aim of this study is to present the results of a systematic mosquito monitoring (SMM) activity in urban environment during a five-year period. The initial assumption was that different natural and built environmental characteristics of the urban area may have different mosquito densities between different parts of the city. Consequently, a mosquito map can be developed if the study detects different mosquito densities between the different parts of the city. It was also expected that with the help of the mosquito map, the identification of urban areas for mosquito control may become data-driven for city management.

This study also explains the possibilities to impact city management measures in connection with targeted biological mosquito control and reduction of the risks of mosquito-borne diseases. Finally, we would like to demonstrate methods of targeted involvement of the residents in the mosquito control tasks and to raise public awareness in connection with mosquito-borne diseases, utilizing the results of the SMM activity.

3. Materials and Methods

An urban mosquito data set was developed in the city of Pécs with the aim of supporting information-based mosquito control. The structured data were provided by the mosquito samples captured in the SMM mosquito traps. Eight mosquito traps were placed out in the residential area of the city in 2015. An additional mosquito trap was also installed as a control site in a marshland area outside the residential area. As a result of the continuous development of SMM, the number of the sampling places outside the control site rose to 10 by 2019, and some of the locations were changed. Figure 1 shows the exact place of the sampling spots and also the changes.

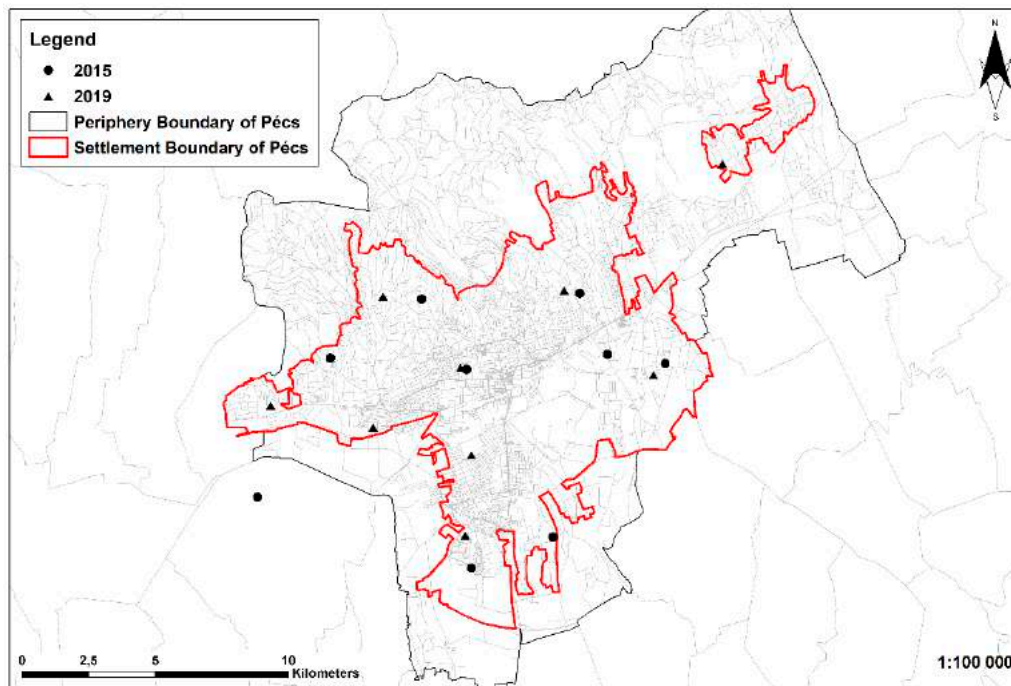


Figure 1. The sites of mosquito trapping in Pécs, 2015–2019.

For the selection of the sampling spots, the built-up density characteristics of the city were taken into consideration. The main principle for the selection of the sampling spots was to cover all the varieties of the built-up density types of the city. The information on the land cover was taken from the free geographical information data set of Corine Land Cover 2018 of the Copernicus system to characterize the built environment. Information on the built-up density of the urban areas was also found in the free geographical information data set of Urban Atlas 2012 of the Copernicus system. These sources have been utilized earlier in several research projects where the land cover-related data were relevant [23–26]. Finally, traps were placed the following parts of the city: arable land (annual crops); continuous urban fabric (sealing layer (S.L.): >80%); discontinuous medium density urban fabric (S.L.: 30–80%); discontinuous very low density urban fabric (S.L.: <30%); forests; green urban areas; industrial, commercial, public, military and private units and pastures. The following parts of the city were not covered by traps: construction sites; fast transit roads and associated land; isolated structures; land without current use; mineral extraction and dumpsites; other roads and associated land; permanent crops (vineyards, fruit trees, olive groves); railways and associated land. Finally, we must highlight that, since the built-up density of the urban areas was not evenly distributed within the city, the trap distribution was adapted to match the selected parameters, and the traps were not distributed evenly.

Trappings started in May each year during the period of the study and finished at the end of September. The traps were developed by the Center for Disease Control and Prevention (CDC) and used light and dry ice (CO₂) for attraction. The traps operated from 6 p.m. every Wednesday to 6 a.m.

on Thursday. In 2016, having captured the first *A. koreikus* specimen with the traps, more mosquito capture took place using the method of human landing at randomly chosen locations of the city, in order to confirm the presence of *A. koreikus* in the city through applying a different methodology to trapping. The counting and faunistic analysis of the individuals captured during the trapping periods was continuously done by the experts of the Virological Research Group.

The data set to detect the characteristics of the mosquito situation in the city was based on the geographical coordinates of the trapping sites and also on the number and faunistic features of the trapped mosquitoes. The data were also supplemented by data referring to the land cover of Pécs, the gradient conditions of the ground, the built-up density of the area as well as the location of running waters and standing waters. To the study of the relationship between mosquito numbers and meteorological conditions, the data of daily average, minimum and maximum temperature, daily temperature range, daily dew-point and daily amount of precipitation during the period under examination were also recorded in the data set.

The geographical information data set of watercourses and water bodies was taken from the free data set of OpenStreetMap. The source of the meteorological data was the official meteorological station of Pécs-Pogány and the meteorological station operated by the Faculty of Science of UP.

The data set included the number and faunistic data of the mosquitoes captured at each site per day, the characteristics of the city ground surface as well as the meteorological features, and it contained the data of altogether 707 trappings. The extreme outliers of captures in the control area and the trapping data containing null values were excluded from the data set. All these gave the basis of the data set of this analysis holding the data records of 441 trappings of the traps placed at different sites of the city of Pécs within the period of 2015 to 2019.

At the beginning of the research, the utilization of an interpolation technique was considered. We had already used the inverse distance weighting (IDW) technique. However, this method was later rejected for the following reasons:

- Seasonality: the number of trapped mosquitoes due to meteorological parameters showed a dynamic change not only annually but also weekly;
- Impacts of modifiers: e.g., built-up density or distance from stagnant waters, which have a positive effect on mosquito numbers. If we omit these factors from our estimate, our prediction will be inaccurate.

The output of this IDW interpolation technique is available as Supplementary Material (Figure S5).

When analyzing the data set with statistical methods, the relationship between the environmental and other impacts and the average number of mosquitoes was examined separately for each variable. In the analysis, the dependent variable was the variable containing the number of the trapped mosquitoes. The selection of the exploratory variables was conducted from the variables of the data set using a forward-stepwise selection by Akaike information criterion (AIC). Finally, the analysis used the statistically significant variables derived during the stepwise selection as independent variables. The list of these variables is as follows:

- Air temperature: The averages of the daily average temperatures (°C) of the two-week period before the given trapping day defined the values of the variable (it was necessary to use two-week periods in the calculations because larval extrusion takes 8–14 days);
- The gradient of the ground near the trapping site: As continuous variable, it contained the gradient of the slope of the ground surface expressed in degrees;
- The distance of the trapping site from running waters: A variable value of 1 indicated running water within 1000 m; a variable value of 0 indicated running water beyond 1000 m (the maximum distance that a mosquito may optimally be able to fly);
- The distance of the trapping site from standing waters: A variable value of 1 indicated standing water within 1000 m; a variable value of 0 indicated standing water beyond 1000 m;

- The built-up density of the area of the trapping site: built-up density of 80% or over (S.L.: $\geq 80\%$); built-up density between 30% and 80% (S.L.: 30–80%); built-up density of 30% or less (S.L.: $\leq 30\%$).

In the course of hypothesis test, the following null hypotheses were made: (1) the distance of the trapping site from running waters does not influence the number of mosquitoes; (2) the extent of the built-up density of the urban areas does not affect the number of mosquitoes. thus, no difference was expected to be found in the average number of the mosquitoes captured in areas of different built-up density. When examining the average temperature, the initial assumption was that a given average air temperature provides advantageous circumstances for the reproduction of mosquitoes. This means the emergence of the favorable average temperature results in the rise of the number of captured mosquitoes in the traps. However, no such preferred temperature value could be defined on the basis of scientific literature. Therefore, in the course of the analysis the observations were repeatedly divided into two sub-samples according to the average temperature values. This method contributed to answering the question of whether the number of mosquitoes would fall if the average temperature was lower than a given temperature.

In the testing of the hypotheses, the Welch two-sample t-test was applied due to the large sample size. Normality was tested using both the Jarque-Bera test and Shapiro-Wilk test. Since based on the results of the normality tests ($p \leq 0$), the normality could not be assumed, and the Kruskal-Wallis non-parametric rank-sum test was also run. However, in the course of making up the sub-samples, in some cases the number of elements in a sub-sample was low or normality could not be assumed. In these cases, the Wilcoxon rank-sum test was used.

Considering the fact that at the examination of the impacts related to the built-up density of the urban area the grouping variable divided the observations into three groups, at the comparison of the average of each group, one-way analysis of variance (ANOVA) and the Welch one-way test was applied.

In addition to hypothesis testing, the ordinary least squares regression method was also applied.

The analysis of the geographical information took place with the use of QGIS v3.4 software and the exploratory analysis in R v3.6.3.

4. Results

Data analysis showed meaningful and relevant results regarding both the hypothesis tests and the exploratory analysis. Accordingly, it can be stated that the research program has achieved its objectives: first, we succeeded in showing that there are statistically significant differences regarding the average number of mosquitoes in the different areas of the city. On the other hand, the features of the urban environment that play a role in the changes in the average number of mosquitoes in the different areas of the city were successfully identified. On that basis, areas of the city in which mosquito control activity should be focused could be defined. At the same time, the areas of the city where interventions of lower intensity may be necessary compared to the intensity of the earlier mosquito control measures could also be defined. All these results can contribute to the planning and implementation of a sustainable and resource-efficient city mosquito control activity.

As regards the hypothesis investigations, the results of the t-test showed significant ($p \leq 0.01$) differences in the sub-samples at the study of the relationship between the distance of trapping sites from running waters and the number of mosquitoes; therefore, the null hypothesis was discarded. The results are shown in Figure 2. In the case of the boxplot, the symbol X represents the mean value; the thick line inside the rectangle represents the median, the bottom of the rectangle represents the lower quartile while the top represents the upper quartile. The width of the rectangle represents the middle 50% of data.

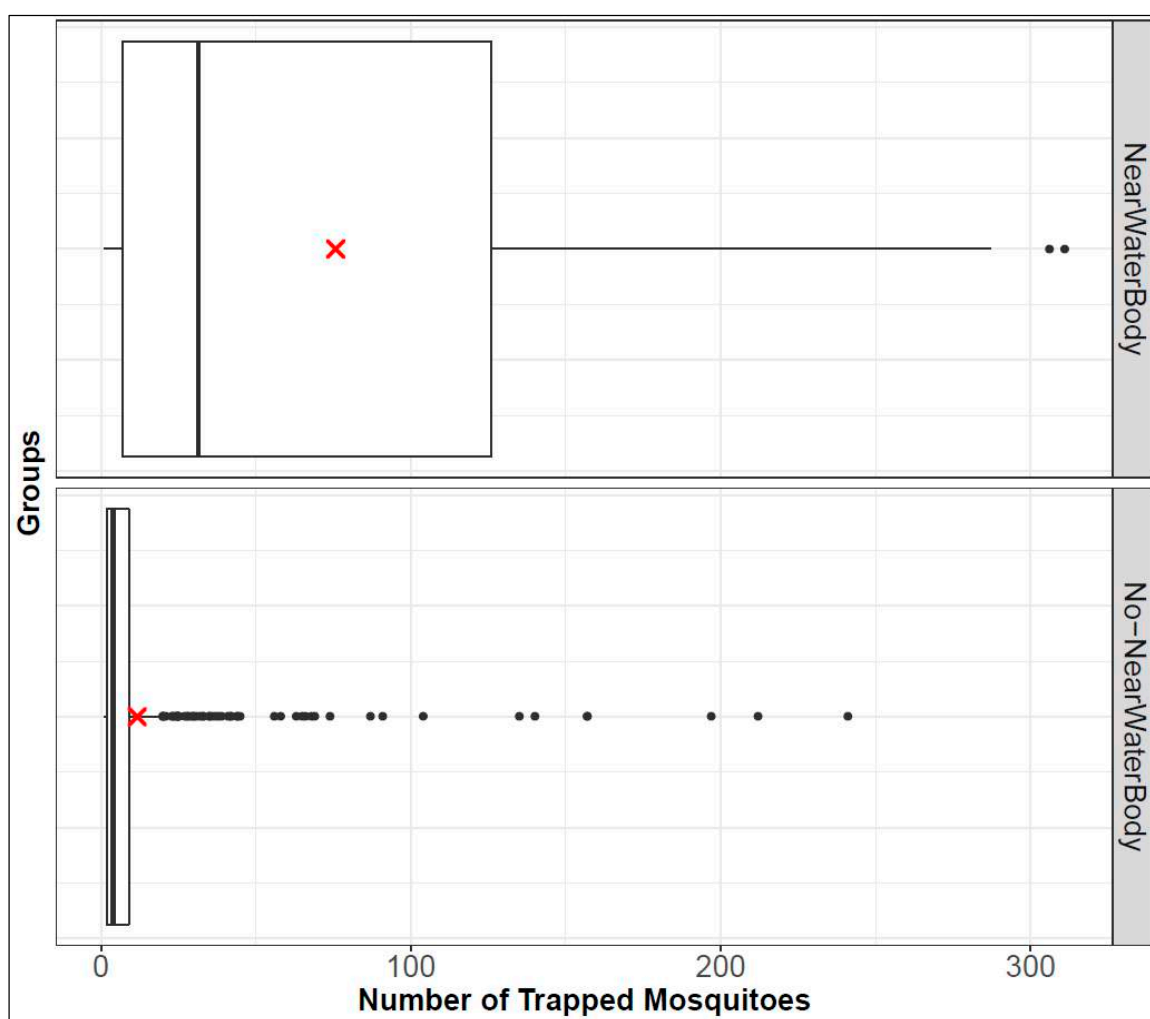


Figure 2. The relationship between the average number of mosquitoes and standing water within 1000 m.

It can consequently be stated that if standing water is to be found within 1000 m radius of the trapping site then the average number of mosquitoes is significantly higher than if there is no standing water within that distance.

Regarding the built-up density of the urban areas and the average number of mosquitoes, the hypothesis that the group averages are identical can be discarded, as significant ($p \leq 0.01$) difference was found between the average number of the captured mosquitoes in the areas of different built-up density. The results are shown in Figure 3. In the case of the boxplot, the symbol X represents the mean value; the thick line inside the rectangle represents the median, the bottom of the rectangle represents lower quartile while the top represents the upper quartile. The width of the rectangle represents the middle 50% of data.

Considering the differences in the average number of mosquitoes in the urban areas with different built-up density, it can be stated that the average number of mosquitoes is significantly higher in the areas of 30% or less built-up density compared to the other urban areas.

When the relationship between the daily average temperature and the average number of mosquitoes was examined, the sub-sampling based on the average temperature values showed significant ($p \leq 0.05$) differences in 55 cases altogether. Figure 4 shows the results in a histogram.

To conclude the results of the hypothesis tests, it can be stated that the distance of the area from running water, the built-up density and the average temperature have a causal impact on the average number of mosquitoes of an urban area. Each of these factors showed direct impact, and the impact intensified with the combination of the three factors.

The goal of the exploratory analysis was to quantify the impact of each factor on the number of mosquitoes. The range of the analyzed variables was not limited to the factors examined in the hypothesis tests, but another variable referring to the gradient of the ground was added. The results of the analysis are listed in Table 1.

Table 1. Quantified results of the effects of the factors influencing the number of mosquitoes.

	Estimate	Std. Error	Statistic	<i>p</i> Value	
(Intercept)	−36.435	14.925	−2.441	=0.015	**
Urban sealing layer: ≤30%	22.231	5.064	4.39	≤0.01	***
Urban sealing layer: 30–80%	15.642	4.131	3.787	≤0.01	***
Slope	−2.04	0.645	−3.16	0.002	***
NearWaterBody	53.303	12.81	4.161	≤0.01	***
AvTemp	2.042	0.68	3.002	=0.003	***
Residual standard error	39.29 (df: 435)				
Multiple R-squared	0.2825				
Adjusted R-squared	0.2742				
F-statistic	34.25 (df1: 5, df2: 435)				
<i>p</i> -value	$<2.2 \times 10^{-16}$				

Note: ** $p \leq 0.05$; *** $p \leq 0.01$. Standard errors robust to heteroscedasticity.

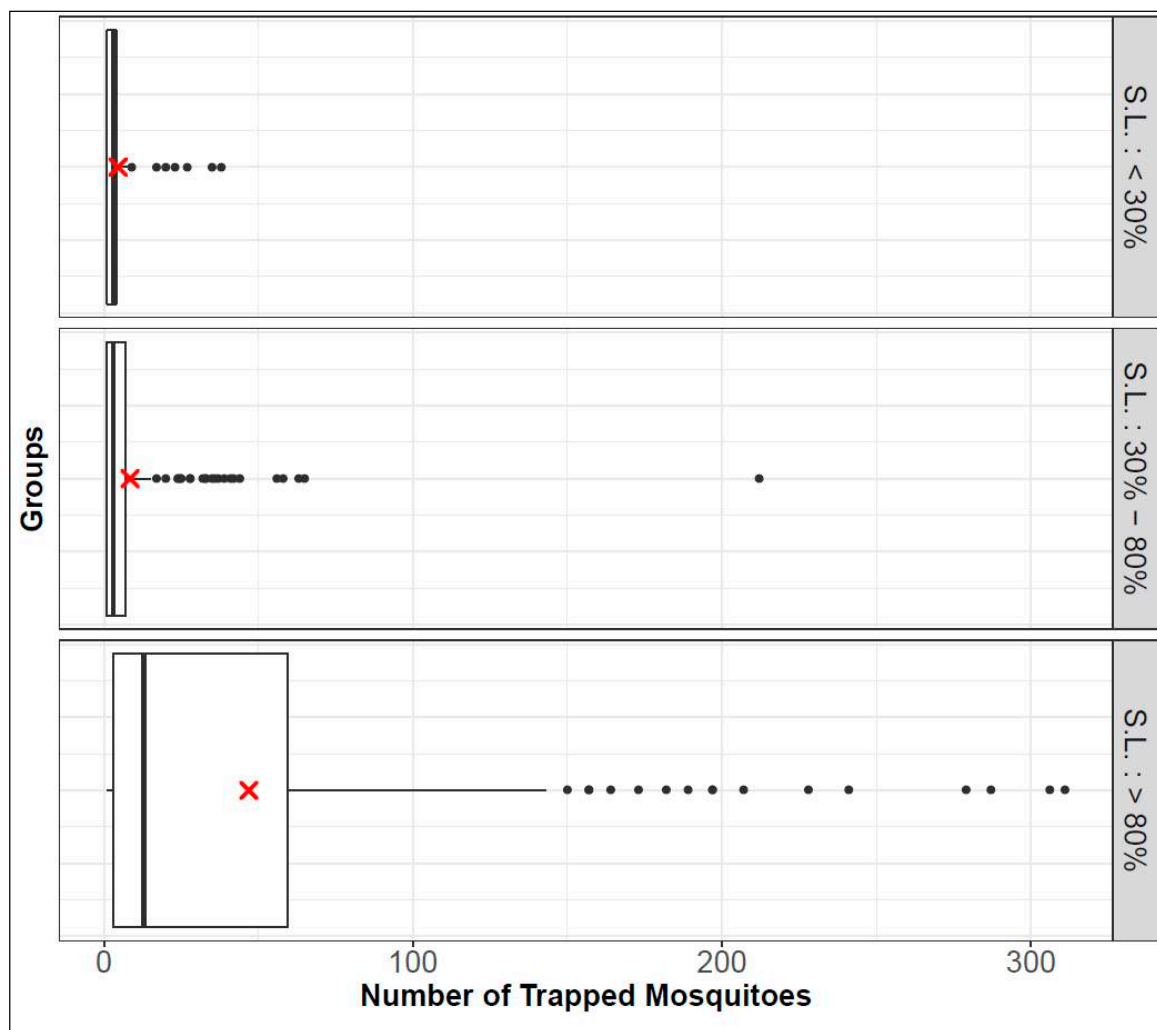


Figure 3. The relationship between the average number of mosquitoes and the built-up density.

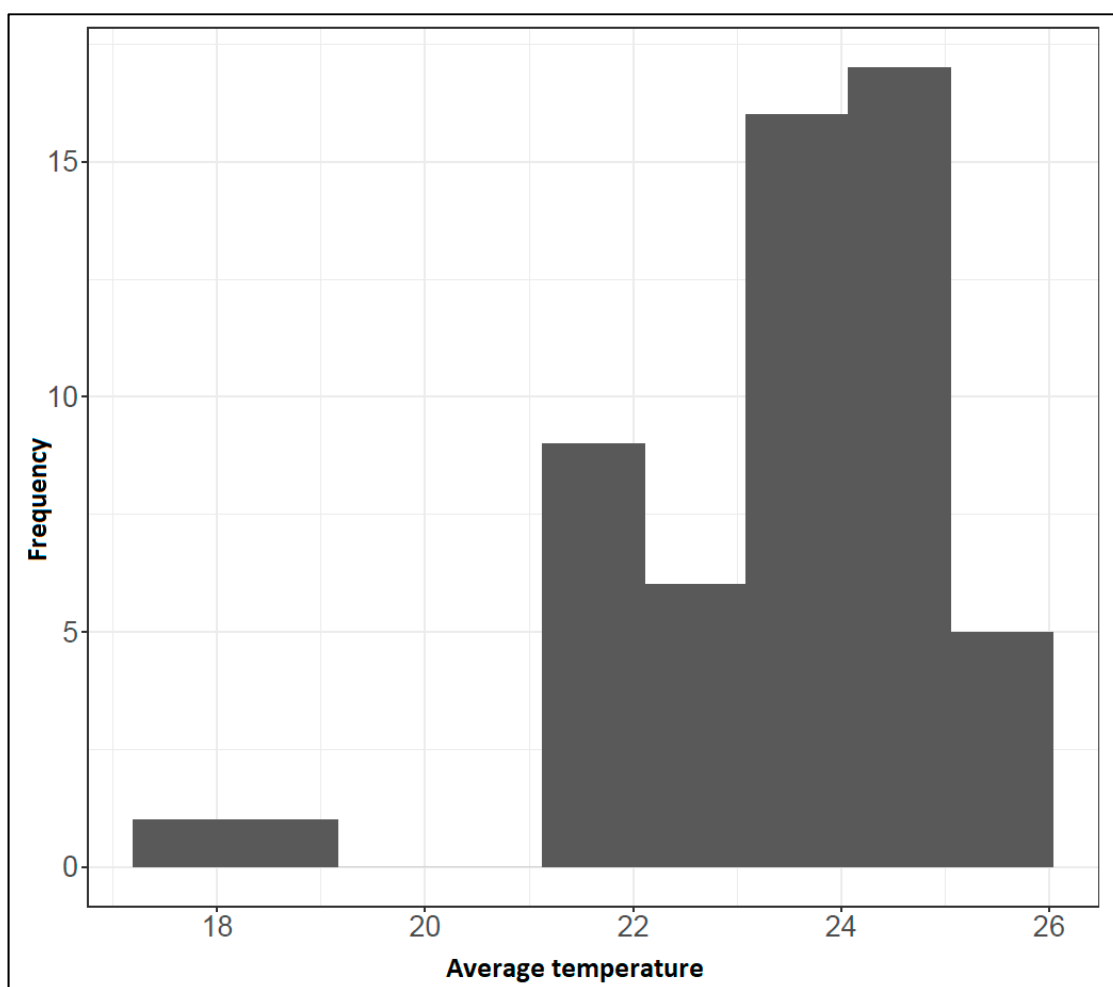


Figure 4. Average temperatures that statistically significantly influence the number of mosquitoes.

The regression model showed a significant ($p \leq 0.05$) result in each variable examined. Thereby, the results of the hypothesis tests were confirmed. Furthermore, other observations were possible for the three factors examined. Standing water within or beyond 1000 m had the most significant (53.3) impact on the changes of the number of mosquitoes. The impact of built-up density of $\leq 30\%$ was also significant; however, its effect was only half as strong (22.2) when compared to the impact of the proximity of standing water. The effect increasing the number of mosquitoes (2.04) related to each Celsius grade of the increase of the average temperature regarding the interval between 21 and 26 Celsius can significantly enhance the growth of the numbers of mosquitoes. Finally, according to the impact related to the gradient of the ground, fewer mosquitoes (-2.04) are to be expected with each grade in the areas of higher slope gradient than in those of steeper gradient. Altogether, all these data can significantly contribute to the targeted selection of the sites of larviciding and also to the planning of the intensity of the process related to average temperature.

Concluding the results of the analysis, it can be stated that on the basis of the data of SMM, some features that have a causal impact on the average number of mosquitoes in a given urban environment were successfully identified. Moreover, the differences between the intensity of the effects of the different factors could also be shown.

With the application of the key results of the analysis described above, a mosquito map supporting the planning of the local mosquito control focusing on larviciding (Figure 5) was developed.

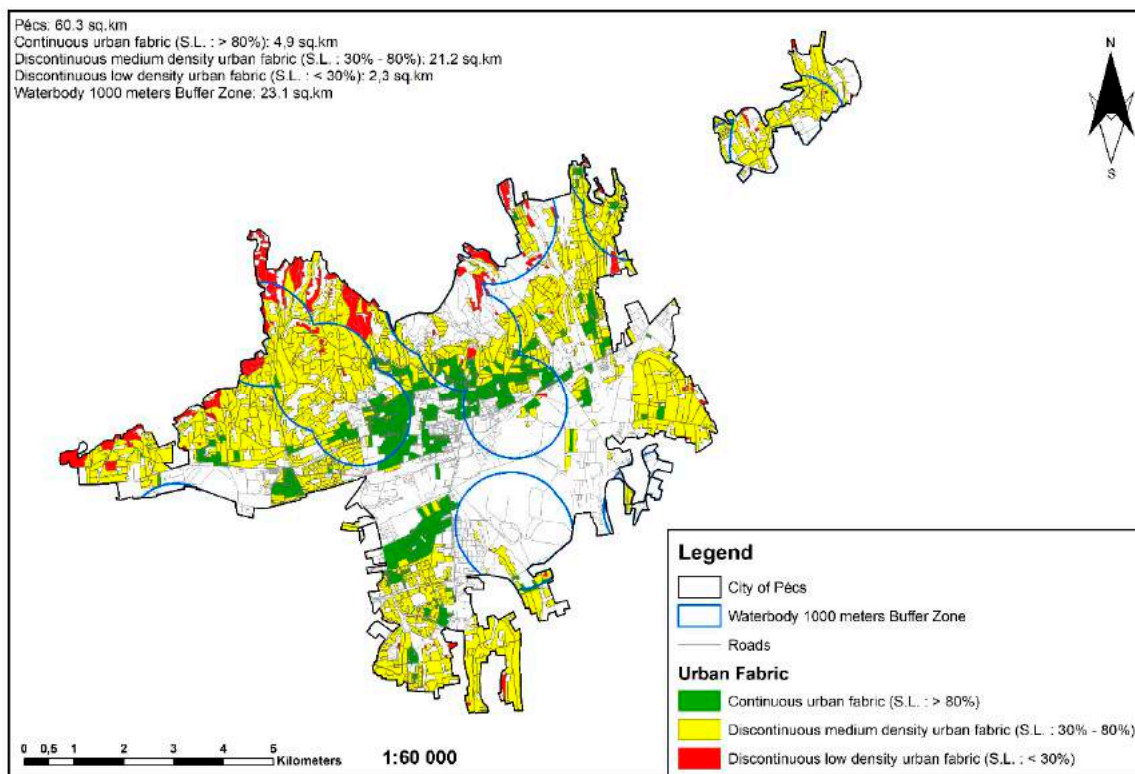


Figure 5. Mosquito map supporting the planning of the local mosquito control tasks.

5. Discussion

Implementation of planned and targeted prevention can significantly increase the effectiveness and efficiency of interventions in urban health-related concerns [27]. Targeted and planned intervention should, however, take place on the basis of appropriate data related to mosquito breeding areas [28–30].

The mosquito monitoring and control initiatives vary among settings, purpose and available resources. However, several examples underpin the rationale of these efforts. One such example is the mosquito maps of the European Centre for Disease Prevention and Control [31]. Data regarding the mosquito population, its faunistic features and the natural and built environmental characteristics of their breeding area are of vital importance for the planning of mosquito control measures in an urban environment. In the case of Pécs, with the help of the SMM data, mosquito control activities in the different parts of the city can be well defined and applied in a concentrated manner. The effectiveness of the achieved mosquito control can be assessed on the basis of the data too. As a result of this research, the development of a mosquito control approach has been started in the city of Pécs. This process can provide an example for other Hungarian cities. This first step is relevant because all of the neighboring countries of Hungary have already established some mosquito monitoring systems, mainly on national or at least regional levels [32–37]. With the monitoring system of Pécs, Hungary may start to catch up with the European trend.

Using the mosquito map, the identification of urban areas for mosquito control may become data-driven for city management. In the case of Pécs, these areas can be the parts of the city having a built-up density of $\leq 30\%$ and the ones situated within 1000 m of standing waters. Based on these two criteria, intensive larviciding is advised to be applied in about 42.1% of the total residential areas of the city. Therefore, mosquito control of lower intensity could also be sufficient in the remaining 57.9% of the city area. This resource reallocation based on planning can boost the efficiency of the control and lead to a positive change towards sustainability in terms of reduced pressure on the environment and reduced expenses of protection.

The Pécs mosquito monitoring initiative may increase the effectiveness of mosquito control interventions in the urban environment, also taking the criteria of sustainable environmental use and resources management into account. In addition, the results can also help to complete the tasks arising from regulation change in Hungary relating to the use of mosquito insecticides. Larviciding with biological agents of selective effect complying with the new regulations can become more efficient together with the developed mosquito map than chemical protection previously used for adulticiding. Thereby, environmental exposure can also be much lower [38]. Moreover, the risks of mosquito-borne diseases and also the inconveniences caused by biting mosquitoes can be continuously kept at a low level throughout the mosquito season with timely interventions. These can be defined with the help of the regular analysis of the temperature forecasts. Accordingly, the ex post facto measures initiated by the increased number of mosquitoes can be replaced by preventive and proactive planning and intervention in mosquito control.

The mosquito map may also become a useful tool for the involvement of the public in mosquito control activities. Using the mosquito map in the areas with high numbers of mosquitoes, the members of the local community can be reached through targeted communication. The aim of this communication is to emphasize the importance of mosquito control and give information about the high-risk periods on the basis of the forecasts. On the other hand, people living in higher mosquito-risk areas could be invited to demonstration activities and workshops where they can get informed about the mosquito control possibilities of private households. Thereby, the communities concerned can actively take part in the mosquito control activities. This contribution can significantly increase the efficiency of the interventions [39]. Accordingly, the combined effects of community activities and city maintenance solutions can offer the possibility to implement an effective, efficient as well as sustainable mosquito control in the coming period in Pécs.

6. Conclusions

Assessing and understanding the characteristics of a given aspect of an urban health-related concern may serve as a vehicle to address the issue. Based on the results of the research project, our research group developed a mosquito map that could contribute to planning focused and targeted mosquito control in a given urban environment. The methods used and solutions offered may also be suitable for risk assessment of vector-borne diseases as well. Our next step is to build a comprehensive larviciding approach that incorporates both the use of biological agents and community resources and can be suitable for use in a wide variety of urban environments.

Nevertheless, with the use of SMM and the method of risk assessment with mosquito maps based on SMM, the city of Pécs has taken a substantial step towards the shaping a health-enabling urban environment in a sustainable way.

Supplementary Materials: The following are available online at <http://www.mdpi.com/2071-1050/12/12/5013/s1>.

Author Contributions: Conceptualization, T.K. and J.G.; methodology, formal analysis, R.B. and G.M.; investigation, C.L. and T.Z.; data curation, R.B., T.Z. and G.M.; writing—original draft preparation, T.K., C.L., R.B., G.M. and J.G.; visualization, R.B. and G.M.; supervision, J.G.; project administration, T.Z. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Acknowledgments: The research project is conducted at the University of Pécs, Hungary, within the framework of the Biomedical Engineering Project of the Thematic Excellence Programme 2019 (TUDFO/51757-1/2019-ITM).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. World Urbanization Prospects 2018. Highlights. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, United Nations, New York, 2019. Available online: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf> (accessed on 20 March 2020).

2. Schwab, G.L.; Moysés, S.J.; França, B.H.S.; Werneck, R.I.; Frank, E.; Moysés, S.J. Healthy cities fighting against chronic conditions. *Environ. Pr.* **2015**, *17*, 16–24. [CrossRef]
3. Van De Poel, E.; O'Donnell, O.; Van Doorslaer, E. Is there a health penalty of China's rapid urbanization? *Health Econ.* **2011**, *21*, 367–385. [CrossRef]
4. Wilcox, B.A.; Gubler, D.J.; Pizer, H. Urbanization and the social ecology of emerging infectious diseases. In *The Social Ecology of Infectious Diseases*; Kenneth, H., Mayer, H.F.P., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2008; pp. 113–137. [CrossRef]
5. Climate Change and Cities. Second Assessment Report on Climate Change and Cities (ARC3.2) Urban Climate Change Research Network, Center for Climate Systems Research, Earth Institute, Columbia University, USA, 2018. Available online: http://uccrn.org/files/2019/09/ARC3.2-PDF-Chapter-10-Urban-Health-wecompress.com_.pdf (accessed on 20 March 2020).
6. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations. 2014. A/RES/70/1. Available online: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> (accessed on 10 February 2020).
7. Hidden Cities: Unmasking and Overcoming Health Inequities in Urban Settings. World Health Organization, The WHO Centre for Health Development, Kobe, and United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT), 2010. Available online: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44439/9789241548038_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed on 10 February 2020).
8. Neiderud, C.-J. How urbanization affects the epidemiology of emerging infectious diseases. *Infect. Ecol. Epidemiol.* **2015**, *5*, 27060. [CrossRef] [PubMed]
9. Eder, M.; Cortes, F.; De Siqueira-Filha, N.T.; De França, G.V.A.; DeGroot, S.; Braga, M.C.; Ridde, V.; Martelli, C.M.T. Scoping review on vector-borne diseases in urban areas: Transmission dynamics, vectorial capacity and co-infection. *Infect. Dis. Poverty* **2018**, *7*, 90. [CrossRef]
10. Alonso, P.; Engels, D.; Reeder, J. *Global Vector Control Response 2017–2030*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2017; Available online: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259205/9789241512978-eng.pdf?sequence=1> (accessed on 20 March 2020).
11. Semenza, J.; Suk, J.E. Vector-borne diseases and climate change: A European perspective. *FEMS Microbiol. Lett.* **2017**, *365*, 2. [CrossRef]
12. Manual on Prevention of Establishment and Control of Mosquitoes of Public Health Importance in the WHO European Region. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2019. Available online: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/392998/mosquito-manual-eng.pdf?ua=1 (accessed on 20 March 2020).
13. Van den Berg, H.; Schaffner, F. *Training Curriculum on Invasive Mosquitoes and (re-)Emerging Vector-Borne Diseases in the WHO European Region*; Copenhagen: WHO Regional Office for Europe: Copenhagen, Denmark, 2016; Available online: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/329495/Training-curriculum-invasive-mosquitoes.pdf?ua=1 (accessed on 20 March 2020).
14. Guidelines for the Control of Mosquitoes of Public Health Importance in Europe. European Mosquito Control Association, 2013. Available online: <https://www.emca-online.eu/emca/who-guidelines> (accessed on 10 February 2020).
15. A Szűnyogállomány Monitorozásának és Célzott Gyérítésének Járványügyi Fontossága. MTA (The Epidemiological Relevance of Monitoring and Targeted Abatement of Mosquitoes. Hungarian Academy of Sciences), 2018. Available online: https://mta.hu/tudomany_hirei/a-szunyogallomany-monitorozasanak-es-celzott-gyertesenek-jarvanyugyi-fontossaga-a-magyar-tudomanyos-akademia-felhivasa-es-megoldasi-javaslat-a-donteshozok-szamara-2018-109136 (accessed on 10 February 2020).
16. Tóth, S.; Kenyeres, Z. Revised checklist and distribution maps of mosquitoes (Diptera, Culicidae) of Hungary. *European Mosquito Bulletin. J. Eur. Mosq. Control Assoc.* **2012**, *30*, 30–65. Available online: <http://e-m-b.org/sites/e-m-b.org/files/EMB%2830%2930-65.pdf> (accessed on 10 February 2020).
17. Sáringer-Kenyeres, M.; Kenyeres, Z.; Bakonyi, T. Biting mosquito data from the Lake Balaton region for the surveillance of West Nile virus infection. *J. Eur. Mosq. Control Assoc.* **2019**, *37*, 34–40. Available online: <http://e-m-b.org/sites/e-m-b.org/files/JEMCA%2037%20p%2034-40.pdf> (accessed on 10 February 2020).
18. Kurucz, K.; Kiss, V.; Zana, B.; Schmieder, V.; Kepner, A.; Jakab, F.; Kemenesi, G. Emergence of *Aedes koreicus* (Diptera: Culicidae) in an urban area, Hungary, 2016. *Parasitol. Res.* **2016**, *115*, 4687–4689. [CrossRef]

19. European Centre for Disease Prevention and Control Agency. *Aedes Koreicus—Factsheet for Experts*; Centre for Disease Prevention and Control and European Food Safety Authority: Stockholm, Sweden, 2014; Available online: <https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/facts/mosquito-factsheets/aedes-koreicus> (accessed on 10 February 2020).
20. *Aedes Koreicus—Current Known Distribution: July 2019*. European Centre for Disease Prevention and Control and European Food Safety Authority, Stockholm. Mosquito Maps. Available online: <https://ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps> (accessed on 10 February 2020).
21. Baldacchino, F.A.; Caputo, B.; Chandre, F.; Drago, A.; Della Torre, A.; Montarsi, F.; Rizzoli, A. Control methods against invasive *Aedes* mosquitoes in Europe: A review. *Pest Manag. Sci.* **2015**, *71*, 1471–1485. [[CrossRef](#)]
22. Bonds, J.A.S. Ultra-low-volume space sprays in mosquito control: A critical review. *Med. Vet. Entomol.* **2012**, *26*, 121–130. [[CrossRef](#)]
23. Smeraldo, S.; Bosso, L.; Fraissinet, M.; Bordignon, L.; Brunelli, M.; Ancillotto, L.; Russo, D. Modelling risks posed by wind turbines and power lines to soaring birds: The black stork (*Ciconia nigra*) in Italy as a case study. *Biodivers Conserv.* **2020**, *29*, 1959–1976. [[CrossRef](#)]
24. Šandrić, I.; Satmari, A.; Zaharia, C.; Petrovici, M.; Cimpean, M.; Battes, K.P.; David, D.-C.; Pacioglu, O.; Weiperth, A.; Gál, B.; et al. Integrating catchment land cover data to remotely assess freshwater quality: A step forward in heterogeneity analysis of river networks. *Aquat. Sci.* **2019**, *81*, 26. [[CrossRef](#)]
25. Mentzafou, A.; Varlas, G.; Dimitriou, E.; Papadopoulos, A.; Pytharoulis, I.; Katsafados, P. Modeling the effects of anthropogenic land cover changes to the main hydrometeorological factors in a regional watershed, Central Greece. *Climate* **2019**, *7*, 129. [[CrossRef](#)]
26. Micek, O.; Feranec, J.; Stych, P. Land use/land cover data of the urban atlas and the cadastre of real estate: An evaluation study in the Prague Metropolitan Region. *Land* **2020**, *9*, 153. [[CrossRef](#)]
27. Dora, C.; Mingle, J.; Fletcher, E. (Eds.) *Health as the Pulse of the New Urban Agenda*; United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development: Quito, Ecuador, 2016; Available online: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250367/9789241511445-eng.pdf?sequence=1> (accessed on 10 February 2020).
28. Neteler, M.; Roiz, D.; Rocchini, D.; Castellani, C.; Rizzoli, A. Terra and Aqua satellites track tiger mosquito invasion: Modelling the potential distribution of *Aedes albopictus* in north-eastern Italy. *Int. J. Health Geogr.* **2011**, *10*, 49. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Petrić, D.; Bellini, R.; Scholte, E.J.; Marrama, L.; Schaffner, C. Monitoring population and environmental parameters of invasive mosquito species in Europe. *Parasites Vectors* **2014**, *7*, 187. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
30. Asingizwe, D.; Murindahabi, M.M.; Koenraadt, C.J.M.; Poortvliet, P.M.; Van Vliet, A.; Ingabire, C.M.; Hakizimana, E.; Mutesa, L.; Takken, W.; Leeuwis, C.; et al. Co-designing a citizen science program for malaria control in Rwanda. *Sustainability* **2019**, *11*, 7012. [[CrossRef](#)]
31. European Centre for Disease Prevention and Control Mosquito Maps. Available online: <https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps> (accessed on 10 June 2020).
32. Kalan, K.; Buzan, V.; Iovic, V. Distribution of two invasive mosquito species in Slovenia in 2013. *Parasites Vectors* **2014**, *7*, P9. [[CrossRef](#)]
33. Austrian Gnat Monitoring Programme by AEGES. Available online: <https://www.ages.at/en/topics/ages-topics/vector-borne-diseases/mosquito-monitoring/#> (accessed on 10 June 2020).
34. Marianna Dzidová, M.; Čabanová, V.; Stloukal, E.; Miterpáková, M. Mosquito fauna and risk of mosquito-borne diseases in the capital city Bratislava, Slovakia—The results of a preliminary monitoring. *Folia Faunistica Slovaca* **2016**, *21*, 245–250.
35. Petrović, T.; Sekler, M.; Petric, D.; Lazić, S.; Debeljak, Z.; Vidanovic, D.; Čupina, A.I.; Lazić, G.; Lupulović, D.; Kolarević, M.; et al. Methodology and results of integrated WNV surveillance programmes in Serbia. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0195439. [[CrossRef](#)]
36. Croatian Institute of Public Health: National Monitoring of Invasive Mosquito Species. Available online: <https://www.hzjz.hr/en/news/national-monitoring-of-invasive-mosquito-species/> (accessed on 10 June 2020).
37. Török, E.; Tomazatos, A.; Cadar, D.; Horváth, C.; Keresztes, L.; Jansen, S.; Becker, N.; Kaiser, A.; Popescu, O.; Schmidt-Chanasit, J.; et al. Pilot longitudinal mosquito surveillance study in the Danube Delta Biosphere Reserve and the first reports of *Anopheles algeriensis* Theobald, 1903 and *Aedes hungaricus* Mihályi, 1955 for Romania. *Parasites Vectors* **2016**, *9*, 196. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

38. Huang, Y.-J.S.; Higgs, S.; VanLandingham, D.L. Biological control strategies for mosquito vectors of Arboviruses. *Insects* **2017**, *8*, 21. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
39. Arostegui, J.; Ledogar, R.J.; Coloma, J.; Hernández-Alvarez, C.; Suazo-Laguna, H.; Cárcamo, A.; Reyes, R.M.; Belli, A.; Andersson, N.; Harris, E.; et al. The Camino Verde intervention in Nicaragua, 2004–2012. *BMC Public Health* **2017**, *17*, 406. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Egészségtudomány

A Magyar Higiénikusok Társasága tudományos folyóirata
alapítva: 1958
Főszerkesztő: dr. Páldy Anna MPH, PhD

Márovics Gergely

EgTud 2024/1.

Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar
Klinikai Orvostudományok Doktori Iskola

Budapest, 2024. január 18.

Kedves Márovics Gergely!

„A szélsőséges időjárás-változás és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások kapcsolata” c. közleményét az Egészségtudomány folyóirat szerkesztőbizottsága közlésre elfogadta. A 2023/3-4. számban fog megjelenni, jelenleg tördelés alatt áll a szám.

Hamarosan megküldjük a tördelés utáni szerzői megtekintésre, javításra. Ezután reméljük, hogy záros határidőn belül közzétételre kerül a szám.

Üdvözlettel

dr. Páldy Anna

Főszerkesztő

Márovics Gergely¹, Girán János¹

¹Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Orvosi Népegészségtani Intézet / University of Pécs Medical School, Department of Public Health Medicine

A szélsőséges időjárás-változás és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások kapcsolata

Association between extreme weather variability and emergency ambulance care of COPD

DOI:

Összefoglalás:

A krónikus obstruktív tüdőbetegség (COPD) világszerte az egyik leggyakoribb halálozási ok, melynek prevalenciája, valamint a hozzá köthető rokkantsággal korrigált életévek (DALY) száma is növekvő tendenciát mutat. A dohányzás mellett különböző időjárási helyzetek is a COPD súlyosbodásának kockázati tényezői lehetnek. Vizsgálatunk célja az volt, hogy elemezzük a Pécs városát érintő szélsőséges mértékű időjárás-változások és a pécsi Sürgősségi Beteg Osztályon (SBO) regisztrált COPD-vel kapcsolatos ellátások közötti kapcsolatot a 2010-2019 közötti időszakban. A COPD-s betegek általi 2010-2019 közötti napi SBO megjelenések, valamint ugyanezen időszak összes releváns napi meteorológiai adatai alapján hoztuk létre a vizsgálat elvégzéséhez szükséges adatbázist. A napi középhőmérséklet-különbség jelentős csökkenése és emelkedése (OR= 1,385 (95% CI 1,012-1,897) és OR= 1,669 (95% CI 1,230-2,234) között), a harmatpont jelentős emelkedése (OR= 1,306 (95% CI 1,036-1,647)), a légnyomás jelentős csökkenése (OR= 1,423 (95% CI 1,002-2,022) és OR= 1,501 (95% CI 1,166-1,992) között) és az átlagos szélesebbesség jelentős csökkenése (OR= 1,341 (95% CI 1,067-1,685) és OR= 1,661 (95% CI 1,217-2,267) között) a COPD-vel kapcsolatos SBO-látogatások magasabb számának lehetséges kockázati tényezőjeként azonosíthatók. A kockázatos időjárási helyzetek azonosításával eredményeink segíthetnek abban, hogy információt szolgáltatassanak a COPD-vel élő betegeknek, valamint, a sürgősségi osztályokon dolgozóknak, lehetővé téve ezáltal az optimálisabb kapacitástervezést.

Kulcsszavak: időjárási szélsőségek, időjárás-változás, COPD, sürgősségi ellátások, kockázatbecslés

Abstract:

Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) is one of the most common causes of death worldwide, with an increasing prevalence and increasing number of disability-adjusted life years (DALYs). In addition to smoking, weather conditions can also be risk factors for COPD exacerbation. The aim of our study was to analyze the relationship between extreme weather variability in the city of Pécs and COPD-related visits registered at the Emergency Department (ED) of Pécs between 2010 and 2019. Daily COPD-related ED visits during 2010-2019 and all relevant daily meteorological data during the same period were used to create the database for the study. A significant decrease and increase in daily mean temperature difference (between $OR=1,385$ (95% CI 1,012-1,897) and $OR=1,669$ (95% CI 1,230-2,234)), a significant increase in dew point ($OR=1,306$ (95% CI 1,036-1,647)) a significant decrease in barometric pressure (between $OR=1,423$ (95% CI 1,002-2,022) and $OR=1,501$ (95% CI 1,166-1,192)), and a significant decrease in average wind speed (between $OR=1,341$ (95% CI 1,067-1,685) and $OR=1,661$ (95% CI 1,217-2,267)) were identified as possible risk factors for a higher number of COPD-related ED visits. By identifying high-risk weather conditions, our results may help provide information to patients with COPD, as well as, emergency department staff, allowing for more optimal capacity planning.

Keywords: weather extremes, weather variability, COPD, emergency care, risk assessment

EGÉSZSÉGTUDOMÁNY
HEALTH SCIENCE

2023;66(3-4): oldalszámok

Közlésre érkezett: 2023. december 6. 24.

Submitted: 6 Dec2023

Elfogadva: 2023 december 30.

Accepted: 30.12.2023

Levelezési cím/Correspondence:

Márovics Gergely

Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi Kar, Orvosi Népegészségtani Intézet

7623 Pécs, Szigeti út 12.

e-mail: gergely.marovics@aok.pte.hu

Bevezetés

A Föld éghajlata és az időjárás jelentős hatást gyakorol az emberi test biológiai funkcióira és egészségére. Napjainkban a globális klímaváltozás széleskörű hatásaival szembesülünk, aminek következtében az emberi egészségre gyakorolt hatások jelentősége is növekszik. A klímaváltozás befolyásolja az időjárást és az időjárási mintázatokat, amelyek közvetlen összefüggésben lehetnek fertőző és nem-fertőző betegségekkel.

Az elmúlt két évtizedben az időjárás emberi egészségre gyakorolt hatásait vizsgáló humán biometeorológiai kutatások száma jelentősen megnőtt. Ezen kutatások elsősorban a különböző szív- és érrendszeri betegségek és a globális klímaváltozással összefüggő hőmérséklet-emelkedés közötti kapcsolatrendszerrel vizsgálják. Ezen belül is többnyire a hőhullámos időszakok alatt bekövetkezett többlethalálozás került a fókuszba. Ugyanakkor egy másik fontos aspektus, a morbiditás, különösen a légzőrendszeri betegségekkel kapcsolatos kórházi-, vagy sürgősségi ellátások lényegesen kevesebb figyelmet kapnak.

A krónikus obstruktív tüdőbetegség (BNO-10 J44: COPD) magas prevalenciája miatt komoly közegészségügyi problémát jelent. 2019-ben világszerte több mint 200 millió embert érintett ez a krónikus légúti betegség. Világviszonylatban 2019-ben több mint 3 millió haláleset volt a COPD-nek tulajdonítható, ami így a harmadik vezető halálozási oknak számít.¹ A COPD prevalenciája jelentősen, 40%-kal nőtt az utóbbi 30 évben: az 1990-es 115 millióról 2010-re 175 millióra, 2010 és 2019 között pedig 13%-kal. A rokkantsággal korrigált életévek (DALY) száma mintegy 75 millió volt 2019-ben, ami 10%-os növekedést jelent 2010 óta.² Magyarországon a COPD prevalenciája elérte a 195057 esetet, ami 24,4%-os növekedést jelent 2010 és 2019 között.³ A betegség 2019-ben több mint 4000 halálesetet okozott, ami 10%-os növekedést mutat 2012-höz képest, és a hatodik vezető halálozási okként pozicionálja a COPD-t.⁴

A dohányzás mellett számos más tényezőt, köztük időjárási paramétereket is azonosítottak a COPD súlyosbodásának potenciális kockázati tényezőjeként.⁵ A szélsőségesen hideg és meleg hőmérséklet is összefüggésbe hozható a COPD-s esetek akut fellángolásával.⁶ Az is világos, hogy fordítottan arányos összefüggés tapasztalható a napi átlaghőmérséklet és a COPD miatti sürgősségi ellátások száma között.⁷ A téli szezon a COPD-s kórházi felvételek magasabb számával jár együtt, és a heti középhőmérséklet minden egyes °C-os csökkenése 4,7%-kal növeli a kórházi felvételek számát.⁸ Más bizonyítékok megerősítik, hogy a COPD-beutalások kumulatív relatív kockázata alacsonyabb a meleg évszakban, mint a hideg

évszakban ($RR=1,06$ és $RR=1,64$)⁹ és hőmérséklet $1^{\circ}C$ -os csökkenése 0,8%-kal növelheti a COPD súlyosbodásának esélyét.¹⁰ Általánosságban elmondható tehát, hogy az alacsony hőmérséklet a COPD-s betegek körében súlyosabb betegségterhet jelent, mint a magas hőmérséklet ($AF= 8,19-28,98$ és $AF= 0,02-5,73$).¹¹

Jól ismert, hogy az életkor és a nem módosíthatja a hőmérséklet COPD súlyosbodására gyakorolt hatását. A COPD súlyosbodása miatt télen kórházba került betegek szignifikánsan idősebbek, mint a nyáron kórházba került COPD-s betegek ($p= 0,040$).¹² A 65 évnél fiatalabb, a COPD akut exacerbációjával (AECOPD) kórházba kerülő betegek a magas, míg a 65 évnél idősebb korcsoport az alacsony hőmérsékletre érzékenyebbek.¹³ A Global Burden of Disease Study 2019 szisztematikus elemzése szignifikáns összefüggést mutatott ki a nem optimális hőmérséklet és a COPD mortalitási kockázatának növekedése között. Ez a teher magasabb volt a férfiak körében, és az életkorral nőtt.¹⁴

A szélsőséges időjárási helyzetek és az időjárás változékonyságának a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatásokra gyakorolt hatásának vizsgálata létfontosságú a megelőző stratégiák kialakítása és az egészségügyi tervezés szempontjából. Annak ellenére, hogy egyre több kutatás folyik ezen a területen, jelentős hiányosságok tapasztalhatók, különösen Közép-Európa vonatkozásában. Következésképpen a célunk az volt, hogy felmérjük, milyen hatással vannak a szélsőséges időjárás-változások a COPD-s betegek által a helyi sürgősségi osztályon tett látogatások számára.

Adatok és módszerek

Háttér

A vizsgálat helyszíne Pécs városa volt. A mintegy 130 000 lakosú egyetemi város mikroklímája naposabb és melegebb az országos átlagnál, már-már mediterrán jellegű, ahol az éves csapadékmennyiség a magyarországi átlaghoz közelít. Pécs közvetlen környezetében, Pogányban, repülőtér működik, melynek meteorológiai állomása 1956 óta szolgáltat adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálatnak (OMSZ). Ugyanakkor a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Karának botanikus kertjében szintén üzemel egy mérőállomás, mely a közelmúltban szintén az országos mérőhálózat részévé vált. A régió egészségügyi központja, a Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar Klinikai Központ (PTE ÁOK KK), alegysége a Sürgősségi Beteg Osztály (SBO), melynek átlagos éves járóbeteg forgalma körülbelül 40 000 fő.

Adatok

Kutatásunk során felhasznált adatokra az etikai engedélyt a Regionális Etikai Bizottságtól kaptam (hivatkozási szám: 8287–PTE2020).

Pécs időjárás adatait és az SBO által regisztrált betegek adatait gyűjtöttük össze a 2010. január 1. és 2019. december 31. közötti időszakra vonatkozóan. A vizsgálathoz szükséges meteorológiai adatokat két különböző forrásból szereztük be: egyrészt a Pécs-Pogány repülőtér hitelesített mérőállomásának adatait a Nemzeti Óceán- és Légkörkutató Hivatal (NOAA) (az állomás koordinátái: 45,991° É 18,241° K, 203 m Balti tengersizint felett) honlapjáról; másrészt a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földrajzi és Földtudományi Intézetének (PTE TTK FI) Fizikai és Környezetföldrajzi Tanszéke (FKT) által üzemeltetett, az Ifjúság utcai kampuszon található (46,078° É, 18,207° K, 174 mBf) meteorológiai állomás adatait is felhasználtuk. Azért gyűjtöttünk két forrásból is időjárás adatakat, hogy a városközpontban és a város peremén mért értékek különbségét, szélsőségeit kiküszöböljük. A meteorológiai paraméterekre vonatkozó adatgyűjtés a következő adatokat tartalmazta a vizsgált időtartam minden egyes napjára vonatkozóan: a napi minimum-, maximum- és átlaghőmérséklet Celsius-fokban (°C); a csapadék mennyisége milliméterben (mm); a harmatpont Celsius-fokban (°C); az állomásszinti légnyomás adatok hektopascalban (hPa); az átlagos szélsősebesség méter/szekundumban (m/s); valamint a relatív páratartalom mértékét százalékban (%).

Az egymást követő napok időjárás a változásait az adott napokhoz tartozó mért értékek, és az azt megelőző nap paraméterei közötti különbség adta meg. Ahhoz, hogy a szélsőséges mértékű időjárás-változást vizsgálhassuk, a meteorológiai adatokból származtatott szélsőségeket kellett meghatározni. Ezt dichotomizálással oldottuk meg a következőképpen: minden egyes paraméter változását az 1., 5., 10., 90., 95. és 99. percentilis értékek szerint osztottuk két csoportra. Az 1., 5. és 10. percentilis esetében a határértéknél alacsonyabb vagy azzal egyenlő értékek 1-es kódot, a többi 2-es kódot kapott. A 90., 95. és 99. percentilis esetében a határértéknél nagyobb vagy azzal egyenlő értékek 1-es kódot, a többi 2-es kódot kapott az adatbázisban. A pontos határértékeket az 1. Táblázat tartalmazza.

A betegforgalomra vonatkozó adatokat a Pécsi Tudományegyetem Klinikai Központ e-MedSolution adatbázisából nyertük ki. A 18 éves vagy annál idősebb járóbeteg ellátásban regisztráltak esetében a következő adatokat gyűjtöttük össze: nem; születési dátum; az osztályra való felvétel és az elbocsátás dátuma; a felvétel utáni diagnózisok. A diagnózisok azonosítására a Betegségek Nemzetközi Osztályozásának 10. revízióját (BNO-10) használtuk. Az SBO-n

megjelent betegeket közül leválogatásra kerültek a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások a BNO-10 kódok alapján: azok a betegek, akiknél J4400, J4410, J4480, vagy J4490 kódot regisztráltak 1-es kódot kaptak az adatbázisban, a többiek 2-est. Ezután összesítettük a COPD megjelenéssel kapcsolatos adatokat a napi átlagok (1,94 COPD eset/) alapján: az átlag feletti COPD megjelenések napjaihoz 1-es kódot (>2 COPD eset/nap), míg az átlagos, és az alatti forgalommal rendelkező napokhoz 2-es kódot (≤ 2 COPD eset/nap) rendeltünk.

	TaD(°C)	TmxD(°C)	TmnD(°C)	TrD(°C)	PrD(mm)	DpD(°C)	PaD(hPa)	WsD(m/s)	RhD(%)	
Átlag	-0,002	-0,002	0,000	9,190	-0,005	0,000	0,032	-0,002	0,007	
Medián	0,167	0,222	-0,111	9,425	0,000	0,222	-0,090	0,000	-0,556	
Szórás	2,310	3,274	2,428	3,619	6,997	2,380	4,478	4,782	11,519	
Minimum	-11,833	-16,167	-10,889	1,000	-83,312	-12,792	-33,900	-23,891	-45,298	
Maximum	9,389	11,611	12,444	19,500	79,248	9,389	59,900	24,076	50,339	
Percentilis	1.	-6,782	-9,111	-5,864	1,500	-23,510	-7,018	-10,592	-12,779	-28,764
	5.	-4,056	-6,000	-3,830	3,000	-8,283	-4,278	-6,827	-8,149	-19,291
	10.	-2,833	-4,222	-2,900	4,000	-3,810	-3,056	-5,100	-5,741	-13,922
	90.	2,693	3,722	3,000	13,667	3,810	2,722	5,298	5,741	14,558
	95.	3,494	5,000	4,000	14,611	8,632	3,611	7,301	7,593	20,121
	99.	5,278	7,389	6,389	16,389	23,622	5,615	11,616	13,149	31,365

1. Táblázat. A szélsőséges mértékű időjárás-változás meghatározásához használt határértékek.
(Rövidítések: TaD: középhőmérséklet-különbség, TmxD: maximumhőmérséklet-különbség, TmnD: minimumhőmérséklet-különbség, TrD: napi hőingáskülönbség, PrD: csapadékosság-különbség, DpD: harmatpontkülönbség, PaD: légnyomáskülönbség, WsD: szélsébség-különbség, RhD: relatív páratartalom-különbség)

	Nem	Korcsoport	Elemszám (n)	Esetszám %
COPD eset n= 7086	Férfi	< 67 év	1455	42,9
		≥ 67 év	1936	57,1
	Nő	< 67 év	1991	53,9
		≥ 67 év	1704	46,1
Nem COPD eset n= 287919	Férfi	< 67 év	97499	70,7
		≥ 67 év	40430	29,3
	Nő	< 67 év	85600	57,1
		≥ 67 év	64390	42,9

2. Táblázat. Az SBO-n regisztrált betegek demográfiai jellemzői.

A vizsgált populációt ezen kívül nemek és korcsoportok szerint is osztályoztuk. A nemek tekintetében a férfiak 1-es, a nők 2-es kódot kaptak. Életkor szerint pedig a COPD-s betegek átlagéletkora (66,79 év) alapján két csoportot alakítottunk ki: 67 év alattiak (1. csoport) és 67 év felettiak (2. csoport) (2. Táblázat).

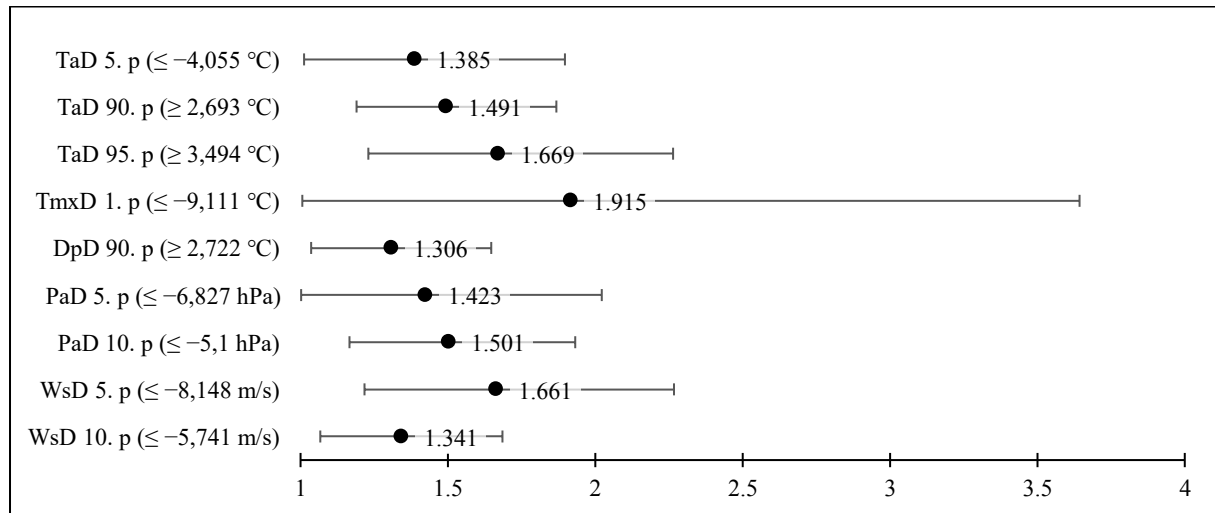
Statisztikai vizsgálat

A statisztikai vizsgálatokat IBM SPSS 28, és jamovi szoftverek felhasználásával végeztük el. Az időjárási paraméterek szélsőséges mértékű változásai (független változók) és az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos ellátások (függő változók) közötti összefüggéseket kontingencia (2×2 tábla) táblázatok segítségével vizsgáltuk meg, hogy rizikóbecslést készíthessünk a függő és független változók között. Annak érdekében, hogy részletesebb képet kapjunk a nemek és korcsoportok független és függő változók kapcsolatára gyakorolt hatásairól, a vizsgálatokat rétegeztük (2. Táblázat), és Mantel-Hanszel féle esélyhányados számítást végeztünk el.

Eredmények

Az időjárási paraméterek szélsőséges mértékű napi változásai több tényező esetén is statisztikailag szignifikáns összefüggést mutattak az átlagosnál magasabb számú COPD-vel összefüggő sürgősségi ellátásokkal. A napi középhőmérséklet-változás tekintetében vegyes kép látható, ugyanis az egymást követő napokon tapasztalható csökkenés, illetve emelkedés is befolyásolhatja az átlagosnál magasabb COPD esetszámokat: a 4,055 °C-nál nagyobb csökkenés, valamint a 2,693 °C-nál nagyobb növekedés is kockázati tényezőként azonosítható. Ezen körülmények bekövetkezése esetén 38,5%-66,9%-kal nagyobb eséllyel regisztrálnak az átlagosnál nagyobb számú COPD esetet az SBO-n. A maximum-hőmérsékletben tapasztalható különbségek vizsgálatakor a 9,111 °C-nál nagyobb csökkenést azonosítottuk kockázati tényezőként, mely esetében az átlagosnál magasabb számú COPD esetszámok esélye 91,5%-kal emelkedett. A harmatpont változásaiban tapasztalható különbségek tekintetében az előző napi értékekhez képest 2,722 °C emelkedés hozható összefüggésbe az átlagosnál magasabb számú napi COPD esetekkel, ami 30,6%-kal növelte ennek az esélyét. A légnyomás-, és szélsébség-különbség esetében azokon a napokon, amikor e paraméterek jelentősen

csökkentek, nagyobb eséllyel regisztráltak átlagnál több COPD esetet: a légnyomáskülönbség legalább 5,1 hPa-lal történő csökkenése 42,3%-50,1%-kal emelte ezt az esélyt; a szélesebbességkülönbség esetében legalább 5,741 m/s csökkenés kellett ahhoz, hogy az átlagosnál magasabb számú napi COPD eset 34,1%-66,1% eséllyel bekövetkezzen (1. ábra).



1. ábra. A meteorológiai paraméterek változásának szélsőségei és az átlagosnál nagyobb számú COPD betegforgalom esélyhányadosai (OR), valamint a hozzájuk tartozó 95%-os megbízhatósági intervallum (CI95%).

Elemzésünk során megvizsgáltuk, hogy az időjárás napi változékonysága és az átlagosnál nagyobb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások közötti kapcsolatot befolyásolja-e a nem vagy az életkor. Az eredmények alapján megállapítható, hogy sem a kor, sem pedig a COPD-vel sürgősségi ellátásban részesült betegek neme nem azonosítható sem zavaró-, sem pedig hatásmódosító tényezőként.

Megbeszélés

Tudomásunk szerint ez az első olyan tanulmány, amely a közép-kelet-európai régióban az időjárás szélsőséges változásai és a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi ellátások közötti kapcsolatot vizsgálta.

Tanulmányunk kimutatta, hogy a napi középhőmérséklet és a harmatpont jelentős mértékű emelkedése 30,6%-49,1%-kal, a napi középhőmérséklet, a maximum-hőmérséklet, légnyomás, illetve a szélesebbesség jelentős mértékű csökkenése 34,1%-91,5%-kal növelte átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások esélyét. Eredményeink összhangban vannak más, a hideg hőmérsékleti események és a sürgősségi

látogatások gyakorisága közötti összefüggést vizsgáló tanulmányokkal.^{15,16} A szélsőséges légköri körülmények a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások megnövekedett kockázatával jártak együtt.¹⁷ Ezt a következtetést korábbi munkánk során megerősítettük.¹⁸ Egy szakirodalmi áttekintés egyértelműen bizonyította, hogy az alacsonyabb hőmérséklet jelentős negatív hatással van a COPD-s betegek állapotára.¹⁹ Korábban már beszámoltak szignifikáns negatív korrelációról az átlaghőmérséklet ($r = -0,577$), a minimumhőmérséklet ($r = -0,526$) és a harmatpont ($r = -0,589$), valamint a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások számának növekedése között, $p < 0,01$ szignifikanciaszinten.²⁰ Eredményeinkkel összhangban egy londoni tanulmány is kimutatta, hogy a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi látogatások magasabb száma várható, ha a szélsébség gyenge.²¹

Vizsgálatunk során megállapítottuk, hogy sem a kor, sem pedig a betegek neme nem zavarta és nem is módosította az időjárás változékonysága és az átlagosnál magasabb számú COPD-vel kapcsolatos betegforgalom közötti kapcsolatot. Ezzel szemben Tajvanon egy tanulmány arról számolt be, hogy a 65 éves vagy annál idősebb, hosszú hideghatással (> 14 nap) rendelkező betegek körében nagyobb a COPD-vel kapcsolatos sürgősségi osztályon tett látogatások kockázata, mint a 65 év alatti, rövidebb hideghatással (0-14 napos késéssel) rendelkező betegek esetében.¹⁰ Ezekkel az eredményekkel összhangban egy hongkongi vizsgálat kimutatta, hogy az alacsony hőmérséklet hatása hosszabb ideig tartott, és hogy az idősebb lakosság érzékenyebb volt rá.⁹ Egy nemrégiben végzett vizsgálatban az alacsony hőmérséklet a COPD akut súlyosbodásának kockázati tényezője volt az idősebb betegek körében.¹³ Ugyanakkor ellentmondásos eredményeket talált egy másik tanulmány, melynek eredményei szerint a férfiak és a 0-64 évesek esetében magasabb relatív kockázatot mutatott ki 1°C-os hőmérséklet-emelkedés esetén.²²

Vizsgálatunk eredményei felhívják a figyelmet arra, hogy a sürgősségi osztályok kapacitástervezését hogyan lehetne támogatni az időjárás-előrejelzésekkel. Azáltal, hogy az ott dolgozók tisztában vannak az időjárás-változások hatásaival, a sürgősségi betegellátás kapacitásának tervezői megalapozott döntéseket hozhatnak a személyzet elosztásáról, ami javíthatja az ellátás minőségét többek között a COPD-s betegek számára is. További kutatásokra van szükség a szélsőséges időjárási körülmények, jelentős időjárás-változások során veszélyeztetett alpopulációk meghatározásához. Továbbá a COPD-s betegeket kezelő háziorvosok és/vagy orvosok hasznosíthatják a meteorológiai információkat azáltal, hogy felvilágosítják betegeiket bizonyos időjárási helyzetek betegségük tüneteire gyakorolt lehetséges hatásairól. Az információátadás másik lehetséges módja lehet egy webalapú

alkalmazás kifejlesztése, amely figyelmeztetné a COPD-s betegeket a számukra kockázatos időjárási eseményekre, és útmutatást adna nekik ahhoz, hogy milyen intézkedésekkel csökkenthetik állapotuk rosszabbodásának esélyeit.

Anyagi támogatás:

A közlemény megírása anyagi támogatásban nem részesült.

A kutatás nem részesült anyagi támogatásban

Szerzők hozzájárulása:

M.G. részt vett a vizsgálat tervezésében, elvégezte az irodalmazást, az adatgyűjtést és a számításokat, részt vett a kézirat megírásában; G.J. részt vett a vizsgálat tervezésében, koordinálta a vizsgálatot, részt vett a kézirat írásában, véleményezésében.

Érdekeltségek:

A szerzőknek nincsenek a tartalmat érintő érdekeltségeik.

Nyilatkozatok:

A szerzők nyilatkoznak arról, hogy a cikk végleges változatát valamennyi szerző elolvasta és jóváhagyta.

Irodalomjegyzék

1. 2020 Gold Reports. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease - GOLD. <https://goldcopd.org/gold-reports/> (accessed 2023-06-01).
2. GBD Results. Institute for Health Metrics and Evaluation. <https://vizhub.healthdata.org/gbd-results> (accessed 2023-06-01).
3. Bulletin. Országos Korányi Pulmonológiai Intézet. 2020, 1. <https://heyzine.com/flip-book/6f3add5fb9.html> (accessed 2023-11-16).
4. Kovács, M. Központi Statisztikai Hivatal Demográfiai Évkönyv. Központi Statisztikai Hivatal. 2020. <https://www.ksh.hu/polc> (accessed 2023-11-16).
5. Safiri, S. et al. Burden of Chronic Obstructive Pulmonary Disease and Its Attributable Risk Factors in 204 Countries and Territories, 1990-2019: Results from the Global Burden of Disease Study 2019. BMJ 2022, 378, e069679. <https://doi.org/10.1136/bmj-2021-069679>

6. Hansel, N. N.; McCormack, M. C.; Kim, V. The Effects of Air Pollution and Temperature on COPD. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease* 2016, 13 (3), 372–379. <https://doi.org/10.3109/15412555.2015.1089846>
7. Song, G. et al. Diurnal Temperature Range as a Novel Risk Factor for COPD Death. *Respirology* 2008, 13 (7), 1066–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2008.01401.x>
8. Almagro, P. et al. Seasonality, Ambient Temperatures and Hospitalizations for Acute Exacerbation of COPD: A Population-Based Study in a Metropolitan Area. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2015, 10, 899–908. <https://doi.org/10.2147/COPD.S75710>
9. Lam, H. C.; Chan, E. Y.; Goggins, W. B. Comparison of Short-Term Associations with Meteorological Variables between COPD and Pneumonia Hospitalization among the Elderly in Hong Kong—a Time-Series Study. *Int J Biometeorol* 2018, 62 (8), 1447–1460. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1542-2>
10. Tseng, C.-M. et al. The Effect of Cold Temperature on Increased Exacerbation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Nationwide Study. *PLoS ONE* 2013, 8 (3), e57066. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057066>
11. Luan, G. et al. Association between Ambient Temperature and Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Population-Based Study of the Years of Life Lost. *International Journal of Environmental Health Research* 2019, 29 (3), 246–254. <https://doi.org/10.1080/09603123.2018.1533533>
12. Hoffmann, C. et al. Increased Vulnerability of COPD Patient Groups to Urban Climate in View of Global Warming. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2018, 13, 3493–3501. <https://doi.org/10.2147/COPD.S174148>
13. Shen, Y. et al. The Relationship between Ambient Temperature and Acute Respiratory and Cardiovascular Diseases in Shenyang, China. *Environ Sci Pollut Res* 2021, 28 (16), 20058–20071 <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11934-2>





14. Zou, J. et al. Distributions and Trends of the Global Burden of COPD Attributable to Risk Factors by SDI, Age, and Sex from 1990 to 2019: A Systematic Analysis of GBD 2019 Data. *Respir Res* 2022, 23, 90. <https://doi.org/10.1186/s12931-022-02011-y>
15. Zhang, Y. et al. Effects of Ambient Temperature on Acute Exacerbations of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Results from a Time-Series Analysis of 143318 Hospitalizations. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2020, 15, 213–223. <https://doi.org/10.2147/COPD.S224198>
16. Phosri, A.; Sihabut, T.; Jaikanlaya, C. Short-Term Effects of Diurnal Temperature Range on Hospital Admission in Bangkok, Thailand. *Sci Total Environ* 2020, 717, 137202. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137202>
17. Ferrari, U. et al. Influence of Air Pressure, Humidity, Solar Radiation, Temperature, and Wind Speed on Ambulatory Visits Due to Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Bavaria, Germany. *Int J Biometeorol* 2012, 56 (1), 137–143. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0405-x>
18. Márovics, G.; Pozsgai, É.; Németh, B.; Czigány, S.; Németh-Simon, S.; Girán, J. How Vulnerable Are Patients with COPD to Weather Extremities?-A Pilot Study from Hungary. *Healthcare (Basel)* 2022, 10 (11), 2309. <https://doi.org/10.3390/healthcare10112309>
19. Javorac, J. et al. What Are the Effects of Meteorological Factors on Exacerbations of Chronic Obstructive Pulmonary Disease? *Atmosphere* 2021, 12 (4), 442. <https://doi.org/10.3390/atmos12040442>
20. Brzezińska-Pawłowska, O. E. et al. Environmental Factors Affecting Seasonality of Ambulance Emergency Service Visits for Exacerbations of Asthma and COPD. *Journal of Asthma* 2016, 53 (2), 139–145. <https://doi.org/10.3109/02770903.2015.1075547>

21. Islam, M. S.; Chausalet, T. J.; Koizumi, N. Towards a Threshold Climate for Emergency Lower Respiratory Hospital Admissions. *Environmental Research* 2017, 153, 41–47.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.11.011>

22. Zhan, Z.-Y. et al. Temperature Variability and Hospital Admissions for Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Analysis of Attributable Disease Burden and Vulnerable Subpopulation. *COPD* 2020, Volume 15, 2225–2235.
<https://doi.org/10.2147/COPD.S260988>

Article

How Vulnerable Are Patients with COPD to Weather Extremities?—A Pilot Study from Hungary

Gergely Márovics ^{1,*}, Éva Pozsgai ^{1,2}, Balázs Németh ¹, Szabolcs Czigány ³, Szilvia Németh-Simon ⁴
and János Girán ¹

¹ Department of Public Health Medicine, University of Pécs Medical School, 12. Szigeti St., 7624 Pécs, Hungary

² Department of Primary Health Care, University of Pécs Medical School, 2. Rákóczi St., 7623 Pécs, Hungary

³ Department of Physical and Environmental Geography, Institute of Geography and Earth Sciences, University of Pécs Faculty of Sciences, 6. Ifjúság St., 7624 Pécs, Hungary

⁴ Department of Emergency Medicine, University of Pécs Medical School, 13. Ifjúság St., 7624 Pécs, Hungary

* Correspondence: gergely.marovics@aok.pte.hu

Abstract: Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) is one of the most common causes of death globally, with increasing prevalence and years lived with disability (YLD). We aimed to investigate how extreme weather conditions were associated with the number of daily COPD-related emergency visits. We collected data regarding the number of daily emergency department (ED) visits made by patients with COPD in 2017, along with all relevant daily meteorological data for the same year. An analysis of the relationship between the number of COPD-related ED visits and extreme meteorological events was carried out. Extremely low temperatures (OR = 1.767) and dew points (OR = 1.795), extremely high atmospheric pressure (OR = 1.626), a high amount of precipitation (OR = 1.270), and light wind speed (OR = 1.560) were identified as possible risk factors for a higher number of COPD-related ED visits. In contrast, extremely high temperatures (OR = 0.572) and dew points (OR = 0.606) were found to be possible protective factors for COPD-related ED visits. By determining the meteorological risk factors for a high number of COPD-related ED visits, our study may help provide invaluable data for identifying vulnerable patient groups based on weather events, thus making more optimal capacity planning at the ED possible.

Keywords: weather extremes; meteorological parameters; emergency department visits; COPD



Citation: Márovics, G.; Pozsgai, É.; Németh, B.; Czigány, S.; Németh-Simon, S.; Girán, J. How Vulnerable Are Patients with COPD to Weather Extremities?—A Pilot Study from Hungary. *Healthcare* **2022**, *10*, 2309. <https://doi.org/10.3390/healthcare10112309>

Academic Editor: Marco Dettori

Received: 21 October 2022

Accepted: 16 November 2022

Published: 18 November 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Climate and weather have a significant impact on the biological functions and health of the human body. As we are facing the wide-ranging impacts of global climate change, the relevance of its effects on humans is increasing. Since climate change affects meteorological parameters and weather patterns, they may, in turn, influence chronic disease-related morbidity and mortality rates [1–4]. Studies have suggested that extreme high temperatures and heatwaves elevate the risk of mortality in patients with cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory diseases, as well as in the elderly population [5]. According to a literature review, increased demand for medical care for people with renal diseases and heat-related illnesses has been observed in various geographical areas [6].

In addition to the heat, cold spells have also been shown to influence the frequency of certain non-communicable diseases. Studies have shown that extremely low temperatures in certain geographical regions can increase the number of admissions in an emergency department [7]. A high diurnal temperature range was also reported to be a risk factor for increased cardiovascular and respiratory-related hospital admissions [8,9]. It has also been suggested that extremely low temperatures significantly increase the risk of respiratory symptom-related emergency room visits [10]. The association between weather parameters and hospital admissions has been proven, and this connection seems to be stronger in the case of respiratory diseases [11]. Furthermore, instead of focusing solely on

temperature-related factors, studying other weather-related extremes—that can also affect health—would be more beneficial.

Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) causes more than 3 million deaths a year, comprises 6% of all deaths, and is the third most common cause of death globally [12]. In 2015, the global prevalence of COPD was almost 175 million, an increase of 17% compared to 2005. During these ten years, the age-standardized rates (ASR) for prevalence showed a decrease of 5.8%. Looking at the same period, the years lived with disability (YLD) increased by 16.2% (12,047 years in 2015), while the ASR for YDL decreased by 5.9% [13]. Since millions of people smoke worldwide, they constitute a large risk group for COPD. Other risk factors include inhalation of various types of smoke (including second-hand smoking) and ambient particulate matter [14].

The hospital admission of patients with COPD was found to be more frequent during the wintertime according to a previous analysis [15]. The same conclusions were drawn from a population-based study, where the highest number (37.2%) of hospital admissions due to COPD was observed during the winter months, followed by autumn, spring, and summer [16]. A German study reported that patients hospitalized due to the exacerbation of COPD during the winter were significantly older than patients hospitalized in the summer ($p = 0.04$) [17]. Extreme cold and hot temperatures were also associated with increased morbidity in COPD [18]. Evidence showed that the cumulative relative risks of COPD admissions were 1.06 during the hot season (30 °C vs. 25 °C) and 1.64 during the cold season (12 °C vs. 21 °C) [19]. Furthermore, according to a study in Taiwan, a 1 °C decrease in temperature increased the exacerbation rate of COPD by 0.8% [20]. While another report in Taichung City, Taiwan, showed that there was a negative association between the average daily temperature and emergency admissions for COPD [9].

Investigating the effects of extreme meteorological parameters on the frequency of hospital visits is important because it can provide valuable information that can serve as the basis for designing preventive measures and capacity planning for healthcare providers.

Therefore, the goal of our study was to determine how the extremes of certain meteorological parameters (temperature, dew point, atmospheric pressure, wind speed, and precipitation) affected the number of visits made by patients with COPD to the local emergency department (ED).

2. Materials and Methods

2.1. Setting

The study was conducted in Pécs, which is a university city located in the south-western part of Hungary with approximately 130,000 inhabitants. The city's microclimate is sunnier and warmer than the national average, but the annual precipitation is similar to the Hungarian national average. A meteorological station, which is part of the monitoring network of the Hungarian Meteorological Service, has been operating at the airport near the city since 1956. The ED is part of a regional medical center, the University of Pécs Clinical Center, and its average annual patient turnover is around 50–60,000 patients.

2.2. Study Design

Our study received ethical approval from the Regional Ethical Committee (Reference Number: 8287-PTE2020).

Meteorological data for the study were obtained from two separate sources. Meteorological data recorded by a certified monitoring station at Pécs-Pogány airport, on the outskirts of the city, were obtained from the National Oceanic and Atmospheric Administration website. The coordinates of the station are 45.991° N 18.241° E, 203 m above the Baltic Sea (ABS). Data from another meteorological station located at the Ifjúság Street Campus of the University of Pécs, 46.078° N, 18.207° E, 174 m ABS, was also used. It is a validated monitoring station operated by the Department of Physical and Environmental Geography, Institute of Geography and Earth Sciences, University of Pécs Faculty of Sciences.

The weather data of the city of Pécs and the data of patients presenting to the ED between 1 January 2017–31 December 2017 were gathered. The data from the two meteorological stations in Pécs were used to eliminate the differences between the values in the center and on the outskirts of the city. Data collection regarding meteorological parameters included the daily minimum, maximum, and average temperature values in degrees Celsius (°C); the precipitation in millimeters (mm); dew point in degrees Celsius (°C); the atmospheric pressure data at the station level in hectopascal (hPa); and the average wind speeds in meters per second (m/s) for each day of the studied year. Data collection regarding patient visits was carried out using the University of Pécs Clinical Center’s e-MedSolution database. The following patient-related data were gathered for patients 18 years of age or older: sex; date of birth; date of admission to the ED and discharge; referent ID; diagnosis following ED admission. The 10th revision of the International Classification of Diseases (ICD-10) codes were used to identify the diagnoses.

2.3. Data Analysis

Regarding weather parameters, data were dichotomized: all variables were split by the 5th, 10th, 90th, and 95th percentile values to indicate extreme conditions. In the cases of the 5th and 10th percentiles, the values that were lower than or equal to the cut-off value were coded with value 1, the others with value 2. In the cases of the 90th and 95th percentile, the values, which were greater than or equal to the cut-off value were coded with value 1, the others coded with value 2. That indicated four different transformed dichotomic variables for each meteorological parameter. The exact cut-off values are shown in Table 1.

Table 1. The basis for the dichotomization of meteorological parameters. (Abbreviation: Avg.Temp.: average temperature, Max.Temp.: maximum temperature, Min.Temp.: minimum temperature, DTR: diurnal temperature range, Dew.P.: dew point, PRCP: precipitation, STP: station-level air pressure, Avg.WdSp.: average wind speed).

	Avg.Temp. (°C)	Max.Temp. (°C)	Min.Temp. (°C)	DTR (°C)	DewP. (°C)	PRCP (mm)	STP (hPa)	Avg.WdSp. (m/s)
5th percentile	−4	−0.889	−7.278	2.778	−6.833	0	983.3	5.186
10th percentile	−0.667	2	−4	4.111	−4.444	0.1	985	6.297
90th percentile	24.056	30	17.111	14	14.944	5.08	1002.8	17.224
95th percentile	25.944	32.389	19	15	16.444	9.906	1005.3	20.372

Regarding the data from the ED visits, the data series was split into two series according to the daily averages: days with at least 141 cases registered in the ED were considered as “high number of daily ED visits” and coded with value 1, and other days were considered as “low number of daily ED visits” and coded with value 2 in the database. When any of the six ICD-10 based diagnosis codes available for COPD (J4400, J4410, J4480, or J4490) were documented for the patients: the patients were coded with value 1, and when the patients did not have any of these four ICD-10 codes, they were coded with value 2. Regarding the data of the COPD cases, the data series was split into two series according to the daily averages: days with at least 3 COPD cases registered in the ED were to have considered a “high number of daily COPD-related ED” and coded with value 1 in the database, while a daily COPD-related ED visit number below 3 was considered to have a “low number of daily COPD-related ED visits” for the purpose of analysis.

We intended to investigate whether the extreme values of the meteorological parameters affected the overall number of emergency visits and the health status of patients suffering from COPD. Therefore, the weather parameters were considered independent variables, while the number of ED visits and COPD-related ED visits were the dependent variables.

2.4. Statistical Analysis

The data were subjected to statistical analysis using SPSS 28 software. The data analysis included the use of frequency tables, contingency tables, and correlation matrixes. Moreover, the chi-square test and risk estimation were performed to examine the stochastic associations and present the strength of association between possible risk factors and outcomes. Differences and associations were considered statistically significant if $p < 0.05$.

3. Results

3.1. Local Climatological Data of the Studied City (Pécs) in 2017

The average temperature was 11.73 °C, with daily mean temperatures ranging from −10.83 °C to 29.72 °C. The lowest recorded temperature was −14.39 °C and the highest was 36 °C. The daily mean diurnal temperature range was 9.38 °C; the day with the highest diurnal temperature range was 17.61 °C, while the lowest was 1 °C. The average measured dew point was 5.36 °C and varied between −20.28 °C and 19.4 °C during the year. The total rainfall was 646.684 mm, with 59.69 mm recorded on the wettest day. Almost three-quarters of the year (73.4%) was dry: there were 268 days without rainfall. The mean precipitation was 1.72 mm. The average atmospheric pressure measured at the station level was 993.93 hPa and varied between 970.5 hPa and 1012.4 hPa. The mean value of the average daily wind speed was 11.03 m/s and varied between 2.04 m/s and 32.04 m/s (Table 2).

Table 2. Local climatological data of Pécs in 2017. (Abbreviation: Avg.Temp.: average temperature, Max.Temp.: maximum temperature, Min.Temp.: minimum temperature, DTR: diurnal temperature range, Dew.P.: dew point, PRCP: precipitation, STP: station-level air pressure, Avg.WdSp.: average wind speed).

	Avg.Temp. (°C)	Max.Temp. (°C)	Min.Temp. (°C)	DTR (°C)	DewP. (°C)	PRCP (mm)	STP (hPa)	Avg.WdSp. (m/s)
Mean	11.73	16.39	7	9.39	5.36	1.71	993.93	11.03
Median	12	17	7.28	9.61	5.33	0	993.6	10
Mode	−0.33	23	4	12.39	1.11	0	993.9	7.22
Standard deviation	9.15	10.33	8.01	3.64	7.17	5.46	6.71	4.75
Min	−10.83	−7.39	−14.39	1	−20.28	0	970.5	2.04
Max	29.72	36	24.39	17.61	19.44	59.69	1012.4	32.04

3.2. Demographic and Clinical Characteristics of Patients Visiting the ED in the Studied City (Pécs) in 2017

Altogether 51,436 ED visits were registered in 2017. The descriptive statistics of the daily emergency visits and the COPD cases are illustrated in Table 3. The mean age of the patients was 58.72 years, and the median was 62 years. A total of 48.8% of the patients were male and 51.2% were female. The mean age of patients with COPD was 67.71 years, with a median age of 68 years. In contrast, the mean age of patients without COPD was lower, 58.52 years, with a median of 61 years. From the total number of COPD-related emergency visits, more than half, 50.7%, were patients aged between 60–74 years. 36.9% of the COPD patients were male, and 63.1% were female. Females between 65–74 years old constituted most of the COPD cases, representing 33% of the total number of COPD-related emergency visits.

Table 3. Descriptive statistics of the daily emergency department visits and the COPD cases.

	Daily Emergency Visits	COPD Cases	Relative Frequency of COPD (%)
Sum	51,436	1076	2.1
Mean	140.92	3.32	2.37
Median	137	3	2
Standard deviation	22.7	2.19	1.55

Table 3. Cont.

	Daily Emergency Visits	COPD Cases	Relative Frequency of COPD (%)
Min	92	0	0
Max	229	12	7.94

3.3. Association between Extremes of Meteorological Parameters and the Number of ED Visits

We analyzed the relationship between the extremes of individual meteorological parameters and the number of ED visits made by patients. We identified some low temperature-related events as an increased risk for a higher number of ED visits per day. The results of the analysis can be found in the Supplementary Material (SM).

3.4. Association between Extremes of Meteorological Parameters and Number of COPD-Related ED Visits

We analyzed the relationship between the extreme values of individual meteorological parameters and the number of ED visits made by patients with COPD. The odds of a high number of COPD-related ED visits per day were more than 75% higher when the average temperature was at or below the 5th percentile and when the dew point was at or below the 5th percentile ($OR_{AT}^5 = 1.767$ [CI95%_{AT}⁵ 1.428–2.187] and $OR_{DP}^5 = 1.795$ [CI95%_{DP}⁵ 1.445–2.228], respectively). The odds ratio of a high number of daily COPD-related ED visits was 1.743 (CI95% 1.405–2.161), when the maximum temperature was at or below the 5th percentile, and 1.698 (CI95% 1.360–2.119) when the minimum temperature was at or below the 5th percentile. The odds of a high number of daily COPD-related ED visits were approximately 60% higher when the average temperature was at or below the 10th percentile, when the minimum temperature was at or below the 10th percentile, when the station level pressure was at or above the 95th percentile, and when the dew point was at or below the 10th percentile ($OR_{AT}^{10} = 1.604$ [CI95%_{AT}¹⁰ 1.353–1.900], $OR_{MNT}^{10} = 1.611$ [CI95%_{MNT}¹⁰ 1.364–1.903], $OR_{STP}^{95} = 1.626$ [CI95%_{STP}⁹⁵ 1.309–2.021], $OR_{DP}^{10} = 1.646$ [CI95%_{DP}¹⁰ 1.392–1.946]), respectively. Regarding atmospheric pressure and wind speed, the odds ratios indicated an approximately 50% higher risk. The odds ratio was 1.513 (CI95% 1.275–1.795) for a high number of daily COPD-related ED visits when the station-level pressure was at or above the 90th percentile, and 1.560 (CI95% 1.248–1.948), when the measured average wind speed was at or below the 5th percentile. We found that the odds of a high number of daily COPD-related ED visits did not reach 50% when the maximum temperature was at or below the 10th percentile ($OR_{MXT}^{10} = 1.450$ [CI95%_{MXT}¹⁰ 1.208–1.740]). Our analysis also showed a 27% higher risk ($OR_{PRCP}^{90} = 1.270$ [CI95%_{PRCP}⁹⁰ 1.060–1.522]) for a high number of daily COPD-related ED visits when the amount of precipitation was at or above the 90th percentile. Therefore, these results suggest that the mentioned meteorological parameters were risk factors for a high number of daily COPD-related ED visits (Figure 1).

The phi correlation coefficient showed a statistically significant weak relationship between the high number of daily COPD-related ED visits and some of the weather parameters shown in Table 3. The coefficients varied between 0.026 (when the dew point was at or below the 10th percentile) and 0.011 (when precipitation was at or above the 90th percentile) (Table 4). We did not find a statistically significant relationship between the high number of daily COPD-related ED visits and the rest of the studied weather parameters.

Besides these risk factors, we could identify some protective factors as well. The weather parameter that had the lowest odds ratio for increased number of COPD-related ED visits was the minimum temperature at or above the 95th percentile. This parameter lowered the risk by approximately 40% ($OR_{MNT}^{95} = 0.572$ [CI95%_{MNT}⁹⁵ 0.406–0.807]). Similar odds ratios were found when the dew point was at or above the 90th percentile ($OR_{DP}^{90} = 0.606$ [CI95%_{DP}⁹⁰ 0.477–0.771]) and when the average temperature was at or above the 95th percentile ($OR_{AT}^{95} = 0.611$ [CI95%_{AT}⁹⁵ 0.433–0.862]). When the minimum temperature was at or above the 90th percentile, we detected an approximately 35%

lower risk for a high number of COPD-related ED visits ($OR_{MNT}^{90} = 0.639$ [CI95% $_{MNT}^{90}$ 0.503–0.812]). Similar odds ratios were calculated when the maximum temperature and the dew point were at or above the 95th percentile ($OR_{MXT}^{95} = 0.659$ [CI95% $_{MXT}^{95}$ 0.474–0.917] and $OR_{DP}^{95} = 0.661$ [CI95% $_{DP}^{95}$ 0.479–0.912]). The odds ratios of the average and maximum temperatures at or below the 90th percentile showed more than 30% lower risks for a high number of COPD-related ED visits ($OR_{AT}^{90} = 0.677$ [CI95% $_{AT}^{90}$ 0.536–0.857] and $OR_{MXT}^{90} = 0.681$ [CI95% $_{MXT}^{90}$ 0.539–0.860]) (Figure 2).

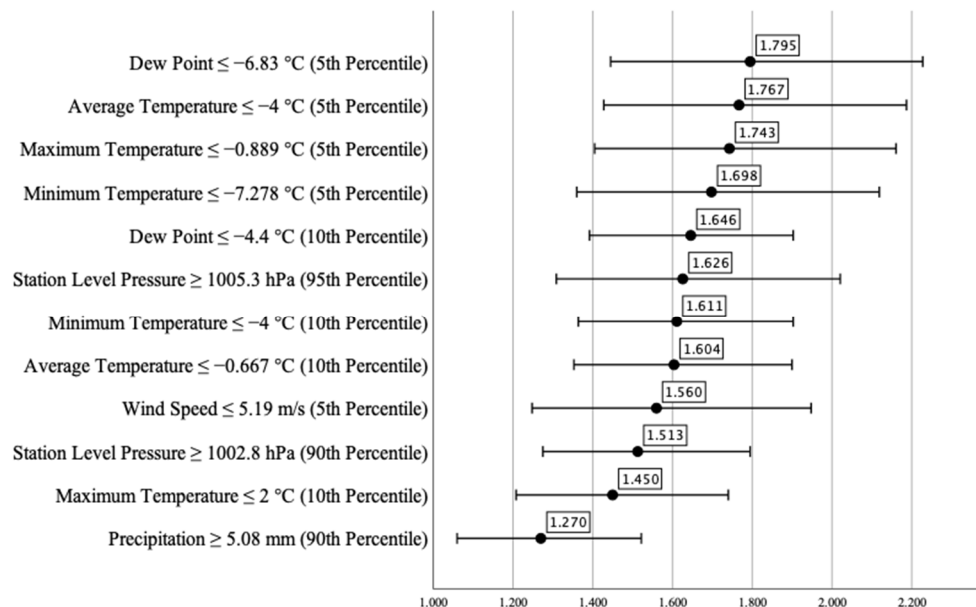


Figure 1. Risk estimation of the effect of extreme meteorological parameters on the number of COPD-related emergency visits per day, $p < 0.05$.

Table 4. Relationship between the extreme meteorological parameters and the number of COPD-related emergency visits per day, $p < 0.05$. (Abbreviation: temperature and dew point values in degrees Celsius (°C); the precipitation in millimeters (mm); dew point in degrees Celsius (°C); atmospheric pressure data at the station level in hectopascals (hPa); and the wind speeds in meters per second (m/s).

Weather Parameter	Phi Correlation Coefficient
Dew Point ≤ -4.4 °C (10th Percentile)	0.026
Minimum Temperature ≤ -4 °C (10th Percentile)	0.025
Average Temperature ≤ -0.667 °C (10th Percentile)	0.024
Dew Point ≤ -6.83 °C (5th Percentile)	0.024
Average Temperature ≤ -4 °C (5th Percentile)	0.023
Maximum Temperature ≤ -0.889 °C (5th Percentile)	0.023
Minimum Temperature ≤ -7.278 °C (5th Percentile)	0.021
Station Level Pressure ≥ 1002.8 hPa (90th Percentile)	0.021
Station Level Pressure ≥ 1005.3 hPa (95th Percentile)	0.020
Maximum Temperature ≤ 2 °C (10th Percentile)	0.018
Wind Speed ≤ 5.19 m/s (5th Percentile)	0.017
Precipitation ≥ 5.08 mm (90th Percentile)	0.011

The phi correlation coefficient showed a statistically significant weak inverse relationship between the high number of daily COPD-related ED visits and some of the weather parameters shown in Table 5. The coefficients varied between -0.140 (when the average temperature was at or above the 90th percentile) and -0.011 (when the maximum temperature and dew point were at or above the 95th percentile) (Table 5). We did not find a statistically significant relationship between the high number of daily COPD-related ED visits and the rest of the studied weather parameters.

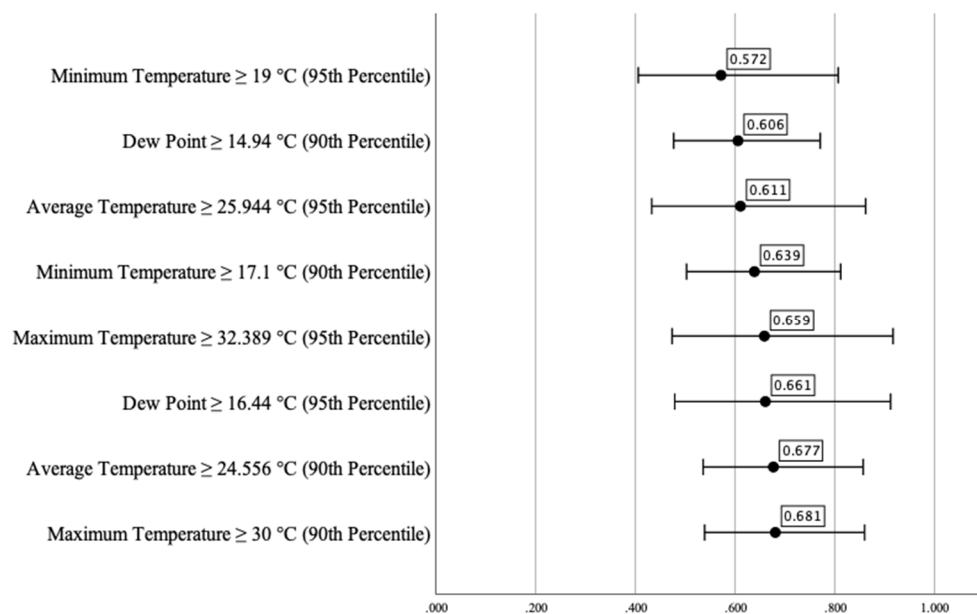


Figure 2. Risk estimation of the effect of extreme meteorological parameters on the number of COPD-related emergency visits per day, $p < 0.05$.

Table 5. Relationship between the extreme meteorological parameters and the number of COPD-related emergency visits per day, $p < 0.05$.

Weather Parameter	Phi Correlation Coefficient
Average Temperature ≥ 24.556 °C (90th Percentile)	−0.140
Maximum Temperature ≥ 30 °C (90th Percentile)	−0.140
Average Temperature ≥ 25.944 °C (95th Percentile)	−0.130
Dew Point ≥ 14.94 °C (90th Percentile)	−0.018
Minimum Temperature ≥ 17.1 °C (90th Percentile)	−0.016
Minimum Temperature ≥ 19 °C (95th Percentile)	−0.014
Maximum Temperature ≥ 32.389 °C (95th Percentile)	−0.011
Dew Point ≥ 16.44 °C (95th Percentile)	−0.011

4. Discussion

To our knowledge, this is the first study to investigate the effect of the microclimate setting—including all available meteorological parameters and weather extremities—on the number of daily ED visits made by patients with COPD.

Our study showed that extremes of low temperature and dew point and high atmospheric pressure were risk factors for an increased number of daily emergency visits. The range of odds ratios was between 2.690 and 4.929 in the case of cold-temperature-related emergency visits. This, therefore, indicated that in extreme cold weather conditions, the risk of a higher-than-average number of daily emergency visits can increase almost fivefold. Our results are in line with other studies investigating the association between cold temperature events and the frequency of emergency visits [21–23]. Similar conclusions were drawn in a systematic review, which reported that the fraction of respiratory morbidity attributable to cold was 12.2% in high-income countries and 25.7% in a middle-income country [24].

Our analysis demonstrated that extreme low temperatures and dew points, light wind speeds, high precipitation, and extreme high atmospheric pressure were risk factors for a higher number of COPD-related emergency visits. In agreement with our results, a literature review clearly showed that lower temperatures had a significant negative effect on patients with COPD [25]. A study from Poland reported significant negative correlations between the average temperature ($r = -0.577$), minimum temperature ($r = -0.526$), and dew

point ($r = -0.589$) and an increased number of COPD-related ED visits with a significance level of $p < 0.01$ [26]. In line with our results, a study in London also showed that a higher number of COPD-related emergency visits could be expected when there was high rainfall or the wind speed was light [27]. Extreme atmospheric circumstances were also associated with an elevated risk for COPD-related emergency visits [28]. We found that although the odds ratios were typically lower compared to the daily emergency visits (1.270 vs. 1.795), there was still an increased risk in the case of extreme atmospheric pressure. Regarding certain temperature-related parameters, our results showed almost twice the odds for a higher number of COPD-related ED visits. Similar to our study, the relative risk of extremely low daily mean temperatures in the case of COPD admissions was 1.55 in a Chinese study [29]. Our results emphasize the significantly higher morbidity burden of COPD patients and patients in general on ED staff in extreme meteorological conditions.

On the other hand, high temperatures and dew points were shown to be protective factors for COPD-related ED visits. Thus, interestingly, certain weather parameters, such as extremes of high minimum temperatures, can decrease the risk of a high number of COPD-related ED visits by more than 40%.

Our study also revealed that the majority of the COPD-related ED visits belonged to patients older than the average age of the patients who visited the ED in general, and female dominance could be observed among the patients with COPD. The same observation was made in China, where a study showed that the female population with COPD could be more vulnerable to cold temperatures [29]. In Taiwan, a study reported a higher risk for COPD-related ED visits among patients 65 years old or above with a long cold effect (>14 days) than for patients below 65 years with a shorter cold effect (lag 0–14 days) [20]. In line with these results, a study in Hong Kong showed that the effect of low temperatures lasted longer and that the older population was more sensitive to it [19]. In a recent Chinese study, low ambient temperature was a risk factor for acute exacerbation of COPD among older patients [30]. On the other hand, an investigation in Guangzhou, China, found inconsistent results and demonstrated higher relative risks for 1°C of temperature increase for males and people aged 0–64 years [31]. This is of particular interest since some of the previous studies had found conflicting results about the increased risk of older female COPD patients' ED visits compared to other patient groups. Thus, by outlining a group of patients more prone to ED visits under certain meteorological conditions, our observations indicate that they may be a special risk group.

The outcomes of our study draw attention to how the emergency department's capacity planning could possibly be supported by weather forecasts. By being aware of meteorological variations that may pose increased risks for patients with certain diseases, such as COPD, ED capacity planners could make informed decisions about the distribution of ED staff, which, in turn, might improve the quality of care for these patients. Further studies are needed to specify vulnerable subpopulations during extreme weather conditions to possibly help the work of ED capacity planners and staff. Furthermore, family doctors and/or doctors treating COPD patients could utilize meteorological information by educating their patients regarding the possible effects of certain meteorological parameters on the symptoms of their disease. Moreover, developing a web-based application to warn patients with COPD and give them guidance due to the harmful weather events could be another possible way to transfer information.

Our investigation has several limitations. Firstly, since it was a pilot study, we only investigated one year of data. Secondly, we investigated data relating to morbidity rates, which is always a more complicated task than investigating mortality alone because outcomes are not always clear-cut and several confounding factors can affect the results, such as inaccurate data recording or the presence of comorbidities. Thirdly, due to the nature of the recorded data, it is not always possible to unambiguously identify the cause of the ED visit (for e.g., the patient may visit the ED either because of the worsening of their COPD symptoms or due to similar symptoms of another comorbidity like ischemic heart disease or high blood pressure). Finally, our analysis would have been more precise if the

emergency visit reports could have been tracked hourly throughout the day instead of being included in one daily summarized report. This option would have given an exact picture of how the changes in the meteorological parameters during the day affected the ED visits. Acute diseases—for example, accidents because of bad weather conditions—and chronic diseases can also increase the daily case numbers due to seasonality.

5. Conclusions

Using a novel methodological approach, our study provided data regarding the effect of a wide range of meteorological parameters on patients with COPD. In contrast to previous studies, which only focused on the effect of just one or maybe a few meteorological parameters, our investigation analyzed the effect of several meteorological parameters on the number of ED visits and COPD-related ED visits. Low temperatures, low dew points, and a high atmospheric pressure were found to be risk factors for a higher number of ED visits. Low temperatures and dew points, light wind speeds, a high amount of precipitation, and a high atmospheric pressure were found to be risk factors for a higher number of COPD-related ED visits. Low temperatures, low dew points, and a high atmospheric pressure appeared to be shared risk factors for an increased number of general- and COPD-related ED visits. However, the associations observed regarding COPD-related ED visits were more reliable due to a more detailed analysis of these data. Light wind speeds and a high amount of precipitation were identified as novel risk factors for a higher number of COPD-related ED visits. On the other hand, certain parameters, such as high temperatures and dew points, strong winds, and a low atmospheric pressure, were shown to be protective factors for COPD-related ED visits.

Our study highlighted the importance of weather variations on morbidity and consequent visits to the ED. Further investigations regarding the health effects of various meteorological parameters are warranted to help identify risk groups and develop adequate preventive actions for patients in different healthcare settings.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/healthcare10112309/s1>, Figure S1: Risk estimation of the effect of extreme meteorological parameters on the number of emergency visits per day; Table S1: Relationship between the extreme meteorological parameters and the number of emergency visits per day, $p < 0.05$.

Author Contributions: Conceptualization, G.M. and J.G.; methodology, G.M., S.N.-S. and J.G.; validation, S.N.-S. and S.C.; formal analysis, G.M.; investigation, G.M.; resources, S.N.-S.; data curation, G.M.; writing—original draft preparation, G.M.; writing—review and editing, G.M., É.P., B.N.; visualization, G.M.; supervision, J.G.; project administration, G.M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and approved by the Regional Ethical Committee of University of Pécs (Reference Number: 8287-PTE2020).

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: The authors wish to thank Péter Kanizsai for the approval of the use of data and support.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Le Tertre, A.; Lefranc, A.; Eilstein, D.; Declercq, C.; Medina, S.; Blanchard, M.; Chardon, B.; Fabre, P.; Filleul, L.; Jusot, J.-F.; et al. Impact of the 2003 Heatwave on All-Cause Mortality in 9 French Cities. *Epidemiology* **2006**, *17*, 75–79. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. D'Ippoliti, D.; Michelozzi, P.; Marino, C.; de' Donato, F.; Menne, B.; Katsouyanni, K.; Kirchmayer, U.; Analitis, A.; Medina-Ramón, M.; Paldy, A.; et al. The Impact of Heat Waves on Mortality in 9 European Cities: Results from the EuroHEAT Project. *Environ. Health* **2010**, *9*, 37. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Bittner, M.-I.; Nübling, M.; Stössel, U. Heat-Related Mortality in Freiburg and Rostock in 2003 and 2005—Methodology and Results. *Gesundheitswesen* **2013**, *75*, e126–e130. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Steul, K.; Schade, M.; Heudorf, U. Mortality during Heatwaves 2003–2015 in Frankfurt-Main—The 2003 Heatwave and Its Implications. *Int. J. Hyg. Environ. Health* **2018**, *221*, 81–86. [[CrossRef](#)]
5. Cheng, J.; Xu, Z.; Bambrick, H.; Prescott, V.; Wang, N.; Zhang, Y.; Su, H.; Tong, S.; Hu, W. Cardiorespiratory Effects of Heatwaves: A Systematic Review and Meta-Analysis of Global Epidemiological Evidence. *Environ. Res.* **2019**, *177*, 108610. [[CrossRef](#)]
6. Li, M.; Gu, S.; Bi, P.; Yang, J.; Liu, Q. Heat Waves and Morbidity: Current Knowledge and Further Direction—A Comprehensive Literature Review. *IJERPH* **2015**, *12*, 5256–5283. [[CrossRef](#)]
7. Ma, Y.; Zhou, J.; Yang, S.; Yu, Z.; Wang, F.; Zhou, J. Effects of Extreme Temperatures on Hospital Emergency Room Visits for Respiratory Diseases in Beijing, China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2019**, *26*, 3055–3064. [[CrossRef](#)]
8. Liang, W.-M.; Liu, W.-P.; Chou, S.-Y.; Kuo, H.-W. Ambient Temperature and Emergency Room Admissions for Acute Coronary Syndrome in Taiwan. *Int. J. Biometeorol.* **2008**, *52*, 223–229. [[CrossRef](#)]
9. Liang, W.-M.; Liu, W.-P.; Kuo, H.-W. Diurnal Temperature Range and Emergency Room Admissions for Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Taiwan. *Int. J. Biometeorol.* **2009**, *53*, 17–23. [[CrossRef](#)]
10. Feng, F.; Ma, Y.; Zhang, Y.; Shen, J.; Wang, H.; Cheng, B.; Jiao, H. Effects of Extreme Temperature on Respiratory Diseases in Lanzhou, a Temperate Climate City of China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2021**, *28*, 49278–49288. [[CrossRef](#)]
11. Giamello, J.D.; Melchio, R.; Bertolaccini, L.; Caraccio, P.; Rendina, C.; Lauria, G. Climatic Factors Influence on Emergency Department Visits. *Hong Kong J. Emerg. Med.* **2022**, *29*, 323–324. [[CrossRef](#)]
12. Global, Regional, and National Deaths, Prevalence, Disability-Adjusted Life Years, and Years Lived with Disability for Chronic Obstructive Pulmonary Disease and Asthma, 1990–2015: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet Respir. Med.* **2017**, *5*, 691–706. [[CrossRef](#)]
13. Vos, T.; Allen, C.; Arora, M.; Barber, R.M.; Bhutta, Z.A.; Brown, A.; Carter, A.; Casey, D.C.; Charlson, F.J.; Chen, A.Z.; et al. Global, Regional, and National Incidence, Prevalence, and Years Lived with Disability for 310 Diseases and Injuries, 1990–2015: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet* **2016**, *388*, 1545–1602. [[CrossRef](#)]
14. Rabe, K.F.; Watz, H. Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Lancet* **2017**, *389*, 1931–1940. [[CrossRef](#)]
15. Donaldson, G.; Wedzicha, J. The Causes and Consequences of Seasonal Variation in COPD Exacerbations. *Int. J. Chronic Obstr. Pulm. Dis.* **2014**, *9*, 1101–1110. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. Almagro, P.; Hernandez, C.; Martinez-Cambor, P.; Tresserras, R.; Escarrabill, J. Seasonality, Ambient Temperatures and Hospitalizations for Acute Exacerbation of COPD: A Population-Based Study in a Metropolitan Area. *Int. J. Chronic Obstr. Pulm. Dis.* **2015**, *10*, 899. [[CrossRef](#)]
17. Hoffmann, C.; Hanisch, M.; Heinsohn, J.B.; Dostal, V.; Jehn, M.; Liebers, U.; Pankow, W.; Donaldson, G.C.; Witt, C. Increased Vulnerability of COPD Patient Groups to Urban Climate in View of Global Warming. *Int. J. Chronic Obstr. Pulm. Dis.* **2018**, *13*, 3493–3501. [[CrossRef](#)]
18. Hansel, N.N.; McCormack, M.C.; Kim, V. The Effects of Air Pollution and Temperature on COPD. *COPD J. Chronic Obstr. Pulm. Dis.* **2016**, *13*, 372–379. [[CrossRef](#)]
19. Lam, H.C.; Chan, E.Y.; Goggins, W.B. Comparison of Short-Term Associations with Meteorological Variables between COPD and Pneumonia Hospitalization among the Elderly in Hong Kong—A Time-Series Study. *Int. J. Biometeorol.* **2018**, *62*, 1447–1460. [[CrossRef](#)]
20. Tseng, C.-M.; Chen, Y.-T.; Ou, S.-M.; Hsiao, Y.-H.; Li, S.-Y.; Wang, S.-J.; Yang, A.C.; Chen, T.-J.; Perng, D.-W. The Effect of Cold Temperature on Increased Exacerbation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Nationwide Study. *PLoS ONE* **2013**, *8*, e57066. [[CrossRef](#)]
21. Bunker, A.; Wildenhain, J.; Vandenbergh, A.; Henschke, N.; Rocklöv, J.; Hajat, S.; Sauerborn, R. Effects of Air Temperature on Climate-Sensitive Mortality and Morbidity Outcomes in the Elderly; a Systematic Review and Meta-Analysis of Epidemiological Evidence. *EBioMedicine* **2016**, *6*, 258–268. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Chen, T.-H.; Du, X.L.; Chan, W.; Zhang, K. Impacts of Cold Weather on Emergency Hospital Admission in Texas, 2004–2013. *Environ. Res.* **2019**, *169*, 139–146. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
23. Ikäheimo, T.M.; Jokelainen, J.; Näyhä, S.; Laatikainen, T.; Jousilahti, P.; Laukkanen, J.; Jaakkola, J.J.K. Cold Weather-Related Cardiorespiratory Symptoms Predict Higher Morbidity and Mortality. *Environ. Res.* **2020**, *191*, 110108. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Cheng, J.; Xu, Z.; Bambrick, H.; Su, H.; Tong, S.; Hu, W. Impacts of Exposure to Ambient Temperature on Burden of Disease: A Systematic Review of Epidemiological Evidence. *Int. J. Biometeorol.* **2019**, *63*, 1099–1115. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Javorac, J.; Jevtić, M.; Živanović, D.; Ilić, M.; Bijelović, S.; Dragić, N. What Are the Effects of Meteorological Factors on Exacerbations of Chronic Obstructive Pulmonary Disease? *Atmosphere* **2021**, *12*, 442. [[CrossRef](#)]

26. Brzezińska-Pawłowska, O.E.; Rydzewska, A.D.; Łuczyńska, M.; Majkowska-Wojciechowska, B.; Kowalski, M.L.; Makowska, J.S. Environmental Factors Affecting Seasonality of Ambulance Emergency Service Visits for Exacerbations of Asthma and COPD. *J. Asthma* **2016**, *53*, 139–145. [[CrossRef](#)]
27. Islam, M.S.; Chaussalet, T.J.; Koizumi, N. Towards a Threshold Climate for Emergency Lower Respiratory Hospital Admissions. *Environ. Res.* **2017**, *153*, 41–47. [[CrossRef](#)]
28. Ferrari, U.; Exner, T.; Wanka, E.R.; Bergemann, C.; Meyer-Arne, J.; Hildenbrand, B.; Tufman, A.; Heumann, C.; Huber, R.M.; Bittner, M.; et al. Influence of Air Pressure, Humidity, Solar Radiation, Temperature, and Wind Speed on Ambulatory Visits Due to Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Bavaria, Germany. *Int. J. Biometeorol.* **2012**, *56*, 137–143. [[CrossRef](#)]
29. Zhang, Y.; Liu, X.; Kong, D.; Fu, J.; Liu, Y.; Zhao, Y.; Lian, H.; Zhao, X.; Yang, J.; Fan, Z. Effects of Ambient Temperature on Acute Exacerbations of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Results from a Time-Series Analysis of 143318 Hospitalizations. *Int. J. Chronic Obstr. Pulm. Dis.* **2020**, *15*, 213–223. [[CrossRef](#)]
30. Shen, Y.; Zhang, X.; Chen, C.; Lin, Q.; Li, X.; Qu, W.; Liu, X.; Zhao, L.; Chang, S. The Relationship between Ambient Temperature and Acute Respiratory and Cardiovascular Diseases in Shenyang, China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2021**, *28*, 20058–20071. [[CrossRef](#)]
31. Zhan, Z.-Y.; Tian, Q.; Chen, T.-T.; Ye, Y.; Lin, Q.; Han, D.; Ou, C.-Q. Temperature Variability and Hospital Admissions for Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Analysis of Attributable Disease Burden and Vulnerable Subpopulation. *Int. J. Chronic Obstr. Pulm. Dis.* **2020**, *15*, 2225–2235. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

Tárgy: Fwd: Manuscript No 7163-M has been accepted
Dátum: 2024. március 25., hétfő 9:19:18 közép-európai téli idő
Feladó: Gergő Márovics
Címzett: Márovics Gergely Péter

Ritkán kap e-mailt a(z) marovics.gergo@gmail.com e-mail-címről. [Miért fontos ez?](#)

Továbbított levél kezdete:

Feladó: Iiar-anticancer <journals@iiar-anticancer.org>
Dátum: 2024. március 23. 09:59:49 CET
Címzett: Balazs Nemeth <nem_bal2@hotmail.com>
Tárgy: Manuscript No 7163-M has been accepted
Válaszcím: Iiar-anticancer <journals@iiar-anticancer.org>

Dear Dr. Balazs Nemeth:

I am pleased to inform you that your revised manuscript No. 7163-M entitled "Weather Variability and COPD: A Risk Estimation Identified Vulnerable Sub-population in Hungary" has been accepted with high priority for publication in *In Vivo*.

The acceptance of this work justifies your contribution of new important knowledge in the field of cancer.

Your manuscript will be published rapidly in the next available issue of *In Vivo*. Once the manuscript's galley proofs are prepared, you will receive an e-mail notification from our online submission system.

Corrected proofs should be sent back by e-mail to iiar@iiar-anticancer.org within 24 hours.

I am grateful for entrusting your work to our journal and I thank you for your cooperation and support.

With my best wishes,

George J. Delinasios

Managing Editor

International Institute of Anticancer Research (IIAR)

ANTICANCER RESEARCH, IN VIVO, CANCER GENOMICS &
PROTEOMICS, and CANCER DIAGNOSIS & PROGNOSIS

e-mail: iiar@iiar-anticancer.org

web: www.iiar-anticancer.org/ <http://iiarjournals.org>

This communication is confidential and intended solely for the individual(s) to whom, or entity to which it is addressed. If you are not the intended recipient, you are hereby notified that any review, dissemination, distribution, copying or any use whatsoever of this communication is strictly prohibited. If you have received this communication in error please notify the sender at her e-mail address and delete the message and any attachments immediately. Internet communications cannot be guaranteed to be secure or error-free as they could be intercepted, corrupted or altered, therefore the sender does not accept any liability for any errors or omissions.

Weather Variability and COPD: A Risk Estimation Identified a Vulnerable Sub-population in Hungary

GERGELY MÁROVICS^{1*}, ÉVA POZSGAI^{1,2}, BALÁZS NÉMETH¹, SZABOLCS CZIGÁNY³,
SZILVIA SOÓS⁴, SZILVIA NÉMETH-SIMON⁵ and JÁNOS GIRÁN^{1*}

¹Department of Public Health Medicine, University of Pécs Medical School, Pécs, Hungary;

²Department of Primary Health Care, University of Pécs Medical School, Pécs, Hungary;

³Department of Physical and Environmental Geography, Institute of Geography
and Earth Sciences, University of Pécs Faculty of Sciences, Pécs, Hungary;

⁴Division of Pulmonology, 1st Department of Medicine, University of Pécs Medical School, Pécs, Hungary;

⁵Emergency Department, János Balassa Hospital, County Hospital Tolna, Tolna, Hungary

Abstract. *Background/Aim:* Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) is a major public health concern, affecting over 200 million people worldwide in 2019. The prevalence of COPD has risen by 40% from 1990 to 2010 and continued to increase by 13% from 2010 to 2019, causing over 3 million deaths globally in 2019, ranking it as the third leading cause of death. This study explored how daily weather changes relate to the number of COPD-related emergency department (ED) visits. *Materials and Methods:* We collected data on daily COPD-related ED visits in 2017 in Pécs along with corresponding meteorological data to analyze this connection. *Results:* High diurnal temperature range (DTR) and day-to-day variability in dew point were linked to a 4.5% increased risk of more COPD-related ED visits. Notably, DTR had a stronger impact on males, contributing to a 6.3% increase, while dew point variability significantly affected males with an odds ratio (OR) of 1.083. (OR=1.083). Stratifying by age revealed heightened risks for those aged 30-39 (43.5% increase) and 50-59 (7.6%

increase). Females aged 30-39 and 50-59 faced elevated risks of 42.7% and 9.1%, respectively, whereas males aged 60-69 showed a 9.8% increase. *Conclusion:* Our findings highlight the influence of weather variations on COPD-related ED visits, with nuanced effects based on age and sex.

Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) is a major public health concern due to its high prevalence, with over 200 million patients affected by the disease worldwide in 2019. The prevalence of COPD has increased significantly, by 40% from 115 million in 1990 to 175 million in 2010, and by 13% between 2010 and 2019. Disability-adjusted life years (DALY) were approximately 75 million, which indicates a 10% increase since 2010. Globally, there were over 3 million deaths attributed to COPD in 2019, making it the third leading cause of death (1-3). In Hungary, COPD prevalence has reached 195,057 cases, marking a 24.4% increase between 2010 and 2019 (4). The disease resulted in over 4,000 deaths in 2019, reflecting a 10% rise from 2012 and positioning it as the sixth leading cause of death (5).

Climate and weather have a substantial impact on the biological functions and health of humans. Investigation of weather has a crucial role nowadays, as we contend with the pervasive consequences of global climate change, and the significance of its impact on human health is intensifying. Considering COPD, besides smoking, several other factors, including weather parameters (1), have been identified as potential risk factors for exacerbating the disease. In Barcelona, Spain, for example, it was observed that the winter season was associated with a higher number of COPD hospitalizations, and for each °C decline in the weekly mean temperature there was a 4.7% increase in hospital admissions (6). A Chinese multicity study found that low temperatures resulted in a more severe disease burden for COPD patients compared to high temperatures (AF=8.19-28.98 vs. AF=0.02-

*ClimateMed Erasmus+ Project, Registration number: 2021-2-HU01-KA220-HED-000050972.

Correspondence to: Gergely Márovics, Department of Public Health Medicine, University of Pécs Medical School, 12 Szigeti St., Pécs, H-7624, Hungary. Tel: +36 72501500/38116, e-mail: gergely.marovics@aok.pte.hu

Key Words: COPD, emergency department visits, diurnal temperature range, dew point, age-and sex-specific risks.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC-ND) 4.0 international license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>).

5.73) (7). Furthermore, an investigation in Germany reported that patients hospitalized for a COPD exacerbation during winter were significantly older than patients hospitalized in the summer ($p=0.040$) (8). Current evidence suggests that the diurnal temperature range (DTR) and day-to-day temperature changes may also pose a risk for both COPD morbidity and mortality. The findings of a Chinese study revealed that each Celsius degree increase in the 4-day moving average of DTR indicated a 1.25% increase in COPD mortality (9).

There is limited evidence regarding the relationship between the dew point and COPD morbidity. However, a study from Poland showed that extremely low dew point could increase the number of COPD-related emergency department visits ($r=0.589$, $p<0.01$) (10).

It is well known that age and sex can modify the effect of temperature on COPD exacerbations. A study conducted in China found that patients younger than 65 with acute exacerbations of COPD (AECOPD) were more likely to be affected by high ambient temperatures. In contrast, in the age group ≥ 65 , patients with AECOPD were found to be more sensitive to low ambient temperatures (11). Furthermore, a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2019 revealed a significant association between non-optimal temperature and increased COPD mortality risk. This burden was higher in males and increased with age (12).

Investigating the effects of meteorological variability on COPD-related emergency visits has vital implications for preventive strategies and healthcare planning. Despite the growing body of research in this area, a notable gap exists, particularly regarding Central Europe, rendering this study addressing the lack of regional data particularly valuable. Consequently, our study aimed to assess the influence of specific meteorological parameters such as temperature, dew point, atmospheric pressure, wind speed, and precipitation variability on the number of visits made by COPD patients to the local emergency department (ED).

Materials and Methods

Setting. The study was conducted in Pécs, which is located in the southwestern part of Hungary with approximately 130,000 inhabitants. The city's microclimate is sunnier and warmer than the national average, but the annual precipitation is similar to the Hungarian national average. A meteorological station, which is part of the monitoring network of the Hungarian Meteorological Service, has been operating at the airport near the city since 1956. The ED is part of a regional medical center, the University of Pécs Clinical Center, and its average annual patient turnover is around 50-60,000 patients. All patients 18 years or older with acute symptoms visit the ED first as part of the single-gate system at the Clinical Center.

Study design. Our study received ethical approval from the Regional Ethical Committee (Reference Number: 8287-PTE2020).

Daily minimum, maximum, and mean temperature ($^{\circ}\text{C}$), precipitation (mm), dew point ($^{\circ}\text{C}$), atmospheric pressure (hPa), and average wind speed (m/s) were obtained from certified stations at Pécs-Pogány Airport (45.991° N, 18.241° E, 203 m) and the University of Pécs Ifjúság Street Campus (46.078° N, 18.207° E, 174 m).

Data on patient visits to the University of Pécs Clinical Center between 1 January 2017 and 31 December 2017 were extracted from the e-MedSolution database. Sex, date of birth, and ICD-10 diagnoses were recorded for patients ≥ 18 years old (13).

Local climatological data of the studied city (Pécs) in 2017. The mean day-to-day average temperature difference was 0.095°C , with daily mean temperature differences ranging from -10.833°C to 8.278°C . According to the maximum temperature changes, the most prominent drop was -13.611°C ; in the case of minimum temperature changes it was -7.500°C from one day to another. The most significant temperature rise for the maximum temperatures was 10.167°C , while for the minimum temperatures its value was 12.444°C . The daily mean diurnal temperature range was 9.387°C ; the day with the highest diurnal temperature range was 17.611°C , while the lowest was 1°C . The mean measured dew point difference was 0.053°C and varied between -9.333°C and 6.444°C during the year. The mean difference in rainfall was -0.034 mm, with 59.69 mm recorded on the wettest day. The mean atmospheric pressure measured between two consecutive days at the station level was -0.054 hPa and the daily differences varied between -13.300 hPa and 15.600 hPa. The mean value of the average daily wind speed change was 0.056 m/s, and the day-to-day changes were recorded between -23.891 m/s and 18.705 m/s (Table I).

Demographic characteristics of patients with COPD visiting the ED in the studied city (Pécs) in 2017. Altogether 1,076 ED visits due to COPD were registered in 2017. The characteristics of the patients are illustrated in Table II. The mean age of the patients with COPD was 67.71 years, with a median age of 68 years. In contrast, the mean age of the patients without COPD was lower, 58.52 years, with a median of 61 years (data not shown). Among the COPD patients 36.9% were male, and 63.1% were female. Regarding age, 62% of the COPD-related ED visits were made by patients aged between 60-79 years (Table II).

Data analysis. Regarding weather parameters, the changes in consecutive days were calculated. The diurnal temperature ranges were also added to the database. Regarding patient data, the data series were split into two series according to the ICD-10 codes: when any of the six ICD-10-based diagnosis codes available for COPD (J4400, J4410, J4480, or J4490) were documented, the patients were coded with value 1, and when the patients did not have any of these four ICD-10 codes, they were coded with value 2 (13).

Stratified analysis was performed based on sex and age. Male patients were coded value 1, female patients were coded value 2. Patients were categorized into eight groups according to their age: 18-29 (group 1), 30-39 (group 2), 40-49 (group 3), 50-59 (group 4), 60-69 (group 5), 70-79 (group 6), 80-89 (group 7), 90+ (group 8).

We intended to investigate whether the daily and intraday changes of the meteorological parameters affected the health status of patients suffering from COPD. Therefore, the weather parameters were considered independent variables, while the COPD-related ED

Table I. Local climatological data of Pécs in 2017.

	Avg. Temp. Dif. (°C)	Max. Temp. Dif. (°C)	Min. Temp. Dif. (°C)	DTR (°C)	Dew. P. Dif. (°C)	PRCP Dif. (mm)	STP Dif. (hPa)	Avg. WdSp. Dif. (m/s)
Mean	0.095	0.115	0.069	9.387	0.053	-0.034	-0.054	0.056
Median	0.167	0.611	0.000	9.611	0.111	0.000	0.000	0.185
Mode	-1.556	0.000	0.000	12.389	0.000	0.000	1.000	0.000
Std.Dev.	2.500	3.508	2.493	3.639	2.494	7.404	4.181	5.392
Min.	-10.833	-13.611	-7.500	1.000	-9.333	-59.690	-13.300	-23.891
Max.	8.278	10.167	12.444	17.611	6.444	59.690	15.600	18.705

Avg.Temp.: Average temperature; Max.Temp.: maximum temperature; Min.Temp.: minimum temperature; DTR: diurnal temperature range; Dew.P.: dew point; PRCP: precipitation; STP: station level air pressure; Avg.WdSp.: average wind speed.

visits were the dependent variables. Moreover, the subgroups, categorized based on sex and age, were investigated to analyze the differences between these sub-groups.

Statistical analysis. The data were subjected to statistical analysis using IBM SPSS 28 software (Armonk, NY, USA). The data analysis included descriptive statistics using frequency tables. Collinearity analysis was carried out to examine whether the predictor variables were correlated. Binominal logistic regression analysis was performed to examine the stochastic associations and present the strength of the association between possible risk factors and outcomes. Stratified analyses were performed according to sex and age. The odds ratios (OR) and 95% confidence intervals (95%CI) were calculated for each meteorological variable, *e.g.* OR_{DTR} indicates the odds ratio between the diurnal temperature range and the outcome. Differences and associations were considered statistically significant when $p < 0.05$.

Results

Association between the daily differences in meteorological parameters and the number of COPD-related ED visits. A higher risk of 4.5% for COPD-related ED visits was detected when the diurnal temperature range was high ($OR_{DTR}=1.045$, $95\%CI_{DTR}=1.024-1.065$). An elevated risk was also found regarding the day-to-day variability of dew points ($OR_{DEWP}=1.045$, $95\%CI_{DEWP}=1.010-1.080$). Collinearity analysis showed that daily differences in average and maximum temperatures could not be used as independent predictors for COPD-related ED visits. No statistically significant results were found for the daily differences in precipitation, air pressure and wind speed (Figure 1).

Association between the daily differences in meteorological parameters and the number of COPD-related ED visits based on the patients' sex. The association between the day-to-day differences in meteorological parameters and the number of COPD-related ED visits was investigated based on the sex of the patients, using stratified analysis. High diurnal temperature range was a risk factor for COPD-related

Table II. Demographic characteristics of patients with chronic obstructive pulmonary disease.

		Frequency	Percent	Cumulative Percent
Age groups	18-29 years	2	0.2	0.2
	30-39 years	7	0.7	0.8
	40-49 years	28	2.6	3.4
	50-59 years	206	19.1	22.6
	60-69 years	387	36.0	58.6
	70-79 years	280	26.0	84.6
	80-89 years	152	14.1	98.7
	90+ years	14	1.3	100.0
	Total	1,076	100.0	
Sex	Male	397	36.9	36.9
	Female	679	63.1	100.0
	Total	1,076	100.0	

ED visits ($OR_{FDTR}=1.032$, $95\%CI_{FDTR}=1.007-1.058$) among females, while high diurnal temperature range (6.3%), and the day-to-day changes in dew point (8.3%) were associated with an elevated risk for a higher number of COPD-related ED visits ($OR_{MDTR}=1.063$, $95\%CI_{MDTR}=1.030-1.098$; $OR_{MDEWP}=1.083$, $95\%CI_{MDEWP}=1.024-1.144$) among males (Figure 2).

Association between the daily differences in meteorological parameters and the number of COPD-related ED visits based on the patients' age. The relationship between the day-to-day differences in meteorological parameters and the number of COPD-related ED visits based on the age of the patients was analyzed. High diurnal temperature range was related to a significantly elevated risk for a higher number of COPD-related ED visits, by 43.5% in the 30-39-year-old group ($OR_{DTR}^{30-39}=1.435$, $95\%CI_{DTR}^{30-39}=1.048-1.964$), and by 7.6% in the 50-59-year-old group ($OR_{DTR}^{50-59}=1.076$, $95\%CI_{DTR}^{50-59}=1.029-1.125$). Changes in daily dew point values increased the risk for a higher number of

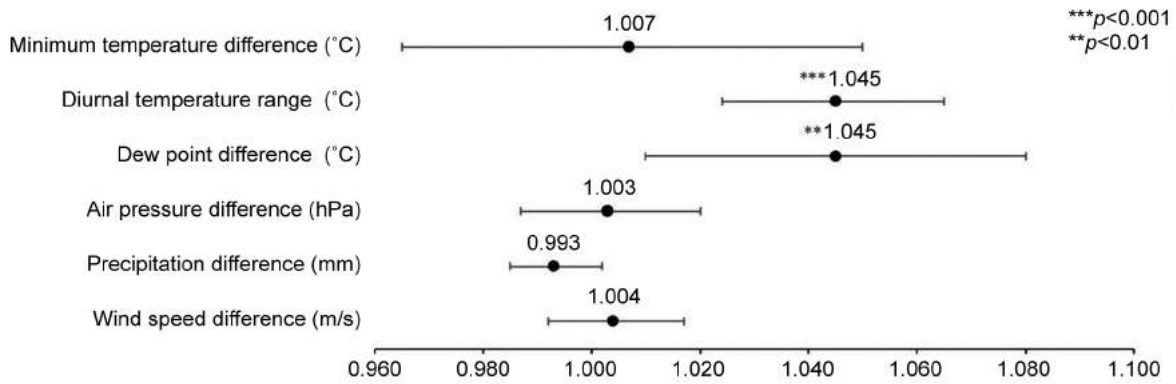


Figure 1. The results of the risk estimation for the studied population. Odds ratios, 95% confidence intervals, and the significances are marked.

	OR	CI 95%	
Difference in minimum temperature (°C)			
Male	1.011	0.880 1.161	
Female	0.936	0.842 1.039	
Diurnal temperature range (°C)			
Male	1.063	1.030 1.098	***
Female	1.032	1.007 1.058	*
Difference in dew point (°C)			
Male	1.083	1.024 1.144	**
Female	1.024	0.981 1.068	
Difference in air pressure (hPa)			
Male	1.018	0.991 1.046	
Female	0.995	0.974 1.016	
Difference in precipitation (mm)			
Male	0.998	0.985 1.011	
Female	0.990	0.979 1.001	
Difference in wind speed (m/s)			
Male	1.023	1.003 1.043	*
Female	0.994	0.978 1.009	

Figure 2. Association between the daily differences in meteorological parameters and the number of chronic obstructive pulmonary disease-related emergency department visits among male and female patients. Odds ratios, 95% confidence intervals, and the significances are indicated (***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05).

COPD-related ED visits by 6.5% ($OR_{DEWP}^{60-69}=1.065$, $95\%CI_{DEWP}^{60-69}=1.007-1.127$) in the 60-69-year-old age group. Interestingly, the day-to-day changes in dew point

decreased the risk for a higher number of COPD-related ED visits in the age group 90+ by 30.6% ($OR_{DEWP}^{90+}=0.694$, $95\%CI_{DEWP}^{90+}=0.516-0.932$) (Figure 3).

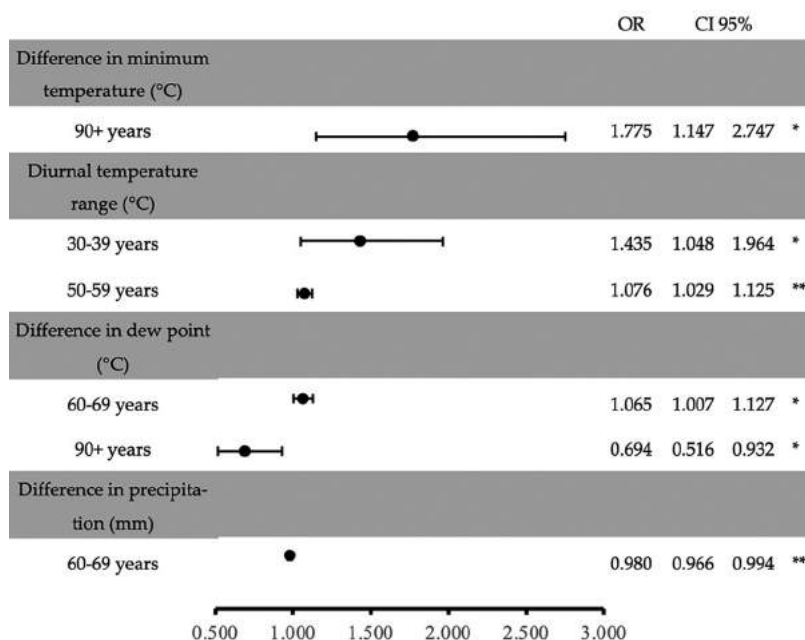


Figure 3. Association between the daily differences in meteorological parameters and the number of chronic obstructive pulmonary disease-related emergency department visits based on the patients' age. Odds ratios, 95% confidence intervals, and the significances are marked (** $p < 0.01$, * $p < 0.05$).

Association between day-to-day differences in meteorological parameters and the number of COPD-related ED visits based on patients' sex and age. To obtain a more detailed picture of the studied population, the association between day-to-day differences in meteorological parameters and the number of COPD-related ED visits were investigated considering both the sex and the age of the patients. Four weather parameter changes associated with a higher number of COPD-related ED visits were identified among females. High diurnal temperature range resulted in a 42.7% higher risk for a higher number of COPD-related ED visits in the age group 30-39-years ($OR_{FDTR}^{30-39}=1.427$, $95\%CI_{FDTR}^{30-39}=1.044-1.950$), and 9.1% in the age group 50-59-years ($OR_{FDTR}^{50-59}=1.091$, $95\%CI_{FDTR}^{50-59}=1.034-1.152$) among female patients. The day-to-day changes in dew point decreased the risk for a higher number of COPD-related ED visits by 43.3% ($OR_{FDEWP}^{90+}=0.567$, $95\%CI_{FDEWP}^{90+}=0.354-0.906$) in the female age group aged 90+. Among male patients, high diurnal temperature range increased the risk for a higher number of COPD-related ED visits by 9.8% ($OR_{MDTR}^{60-69}=1.098$, $95\%CI_{MDTR}^{60-69}=1.034-1.165$) in the 60-69-years age group (Figure 4).

Discussion

To our knowledge, this is the first study to investigate the effect of changes in different weather parameters – such as

minimum temperature, dew point, precipitation, air pressure, wind speed and DTR – on the number of ED visits made by COPD patients in a Central-European climate setting. In addition, we were able to provide a detailed and accurate analysis of the studied patient group by stratifying the patients based on their sex and age.

The findings of our investigation revealed that both high DTR and day-to-day variability of dew point were associated with a 4.5% elevated risk for a higher number of COPD-related emergency visits. Our results are in line with other studies exploring the association between respiratory diseases and DTR (14). A higher DTR was associated with an increased relative risk (RR) of hospitalization for COPD exacerbations according to an analysis in China in 2020 ($RR=1.11$, the 75th percentile vs. the 25th percentile of DTR) (15). The study also reported a J-shaped association between DTR and COPD mortality with extremely high DTR conditions indicating a 45% elevated risk for COPD mortality (16).

There is limited research regarding the relationship between day-to-day changes in dew point and hospital admissions for COPD. A study in a Central-European area indicated that extremely low dew points could increase the number of COPD-related emergency department visits ($OR=1.795$) (13).

We also observed that increased DTR contributed to a higher incidence of COPD-related ED visits in both males

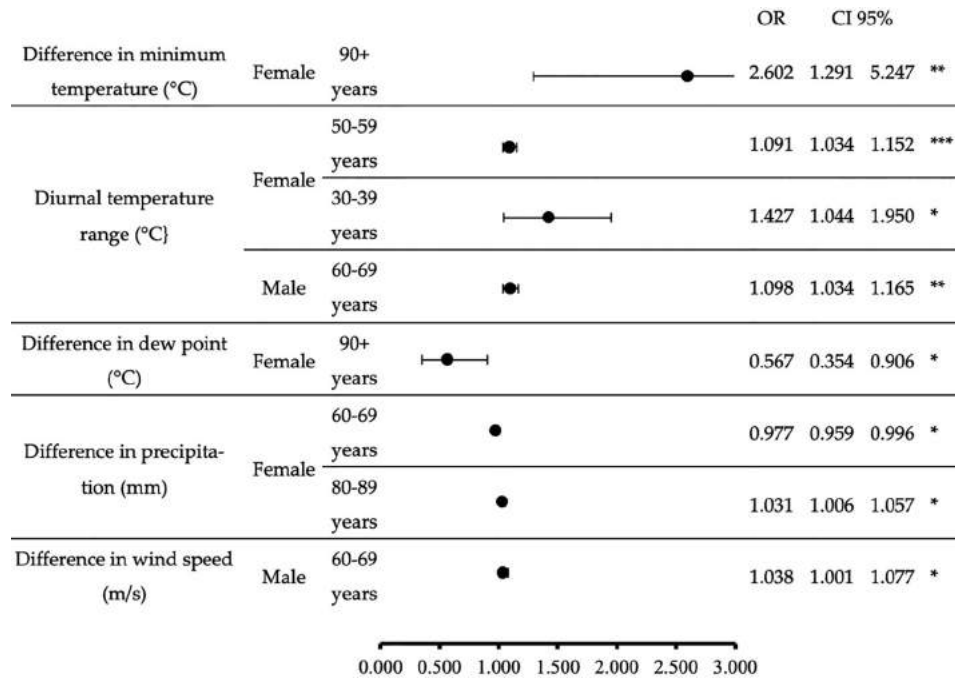


Figure 4. Association between the daily differences in meteorological parameters and the number of chronic obstructive pulmonary disease-related emergency department visits among males and females based on patients' age. Odds ratios, 95% confidence intervals, and the significances are marked (*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$).

and females, with an increase of 6.3% and 3.2%, respectively. Notably, among males, we found that day-to-day variations in dew point were a significant risk factor for a higher number of COPD-related ED visits (OR=1.083). Our findings are in line with earlier investigations, which indicated a higher sensitivity to high DTR among male patients with COPD. One investigation in China reported a 4.6% increase in daily COPD hospitalizations among males for every 1°C increase in hourly temperature variability (17), and another Chinese study also emphasized vulnerability of male patients to temperature variability in COPD hospital admissions (18). These studies show male predominance, which may result in males appearing to be more vulnerable to these meteorological changes. However, studies regarding the effect of DTR and temperature on patients with COPD have reported inconsistent results. A study in China linked an 1°C DTR increase to higher COPD hospitalization risk, particularly in females (RR=1.051) (19). Compared to our study, the observed higher risk among females is most probably due to the study investigating periods of cold weather, whereas we did not examine cold and hot periods separately.

Our study revealed that high DTR was a risk factor for a higher number of COPD-related ED visits across various age groups. The impact of DTR was particularly apparent among individuals aged 30-39 years, who had a 43.5% increased

risk, and among patients between 50-59 years, with a 7.6% increased risk. These findings correspond with previous studies indicating that younger patients are more vulnerable to DTR, and temperature variability compared to older individuals (17, 18). Previous reports from Central Europe demonstrated that younger populations with respiratory diseases were more sensitive to both cold and heat exposures (20). Similar conclusions were drawn from a time-series analysis in China, which suggested that individuals aged 65 years or less were more susceptible to temperature changes (21). In contrast to DTR, daily changes in dew point elevated the risk of COPD-related ED visits among patients in the older, 60-69-year-old age group by 6.5%. A study from Hong Kong in 2018 found a U-shaped association between the relative humidity and COPD hospital admissions among elderly (22).

Our findings also revealed that females aged 30-39 years and 50-59 years faced a higher risk of seeking ED care due to COPD exacerbation when exposed to high DTR, with elevated risks of 42.7% and 9.1% respectively. In contrast, there was a 9.8% increased risk for a higher number of COPD-related ED visits under high DTR conditions among older males, aged 60-69 years. Previous studies have reported that males and younger individuals exhibit heightened vulnerability to DTR effects (17, 18). However, a study in Bangkok found no sex or age-related differences in respiratory hospital admissions

linked to elevated DTR (23). Conversely, a Chinese multicenter study indicated comparable risks for both female and male patients with COPD, as well as across age groups, when exposed to high DTR conditions (14). In comparison to previous results, we can conclude that the observed differences in risk were possibly due to the different structure of the studied populations.

The outcomes of our study underscore the importance of utilizing weather forecasts to support emergency department capacity planning. By considering meteorological variations that may pose increased risks for specific diseases like COPD, ED capacity planners can make informed decisions about the allocation of staff, ultimately enhancing the quality of care for these patients. Healthcare planning is also important for the optimal allocation of financial resources, since there was a 15.48% increase in COPD hospital admissions between 2007 and 2015 in France, leading to an increase in the total COPD hospitalization costs by 12.6% in this period (from 602 to 678 million euros) (24). Additionally, family doctors and healthcare providers treating patients with COPD can utilize meteorological information to educate their patients about the potential effects of certain weather parameters on their disease symptoms. Developing a web-based application to warn and provide guidance to patients with COPD during adverse weather events could also be a valuable means of disseminating information.

Study limitations. As a pilot study, data from a one-year period and only from a single medical center were collected. Furthermore, other medical conditions and ongoing comorbidities of the patient (*e.g.*, high blood pressure, heart disease) may have been influenced by meteorological variations and could thus have influenced the patients' ED-visits.

The strengths of the study should be also noted. This research stands out from previous investigations by comprehensively exploring distinct age cohorts — those aged <65 and ≥65 — while finely categorizing ages in 10-year increments. This detailed approach offers a nuanced understanding of age-specific dynamics. Additionally, our dual stratification by sex and age enables precise analysis, unveiling unique patterns, such as those within the 30-39-year-old female population, and enhancing the depth and robustness of our findings.

Conclusion

Our study provided data regarding the effect of dew point changes and DTR and showed that both meteorological parameters were risk factors for a higher number of COPD-related ED visits. High DTR was linked to an increased frequency of COPD-related ED visits, particularly among males, while the risk of COPD-related ED visits due to

increased DTR was highest among, females aged 30-39 years. Our findings emphasized the significance of weather variations in determining the frequency of COPD-related ED visits and how the age and sex of the patients influenced the effect of these meteorological parameters on the patients. Our study may have important implications for both healthcare planning and clinical practice. In the face of global climate change, we must not forget the increasing impact of weather on human health. Detailed weather forecasts may be useful when planning capacity and allocating human resources particularly in typically overburdened healthcare settings, such as EDs. In addition, preventive measures to minimize the occurrence of COPD exacerbations may be put into practice, by informing the identified target patient groups regarding the effect of different meteorological parameters and possibly even by proactively adjusting their treatment regimens by their primary health care provider.

Funding

This research received no external funding.

Conflicts of Interest

The Authors declare that there are no conflicts of interest regarding the publication of this study.

Authors' Contributions

Conceptualization: G.M. and J.G.; methodology: G.M., SZ.N-S., SZ.S and J.G.; validation: SZ.N-S., SZ.S and SZ.C.; formal analysis: G.M.; investigation: G.M.; data curation: G.M.; writing, original draft preparation: G.M.; writing, review and editing: G.M., É.P., B.N.; visualization: G.M.; supervision: J.G. All Authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Acknowledgements

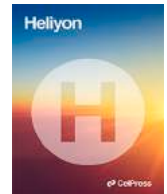
The Authors wish to thank Péter Kanizsai for the approval of the use of data and support. The research was carried out in the framework of the ClimateMed Erasmus+ project (Registration number: 2021-2-HU01-KA220-HED-000050972). This research forms the basis of a PhD thesis, as do previous results on this topic published by the authors (Reference No. 13. Márovics *et al.* 2022. <https://doi.org/10.3390/healthcare10112309>). For this reason, the methods used are similar, however, the present manuscript presents a different aspect of the health-modifying effects of weather on people living with COPD.

References

- 1 Safiri S, Carson-Chahhoud K, Noori M, Nejadghaderi SA, Sullman MJM, Ahmadian Heris J, Ansarin K, Mansournia MA, Collins GS, Kolahi AA, Kaufman JS: Burden of chronic obstructive pulmonary disease and its attributable risk factors in

- 204 countries and territories, 1990-2019: results from the Global Burden of Disease Study 2019. *BMJ* 378: e069679, 2022. DOI: 10.1136/bmj-2021-069679
- 2 GBD Results. Institute for Health Metrics and Evaluation. Available at: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-results> [Last accessed on January 6, 2023]
 - 3 2020 Gold Reports. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease - GOLD. Available at: <https://goldcopd.org/gold-reports/> [Last accessed on June 1, 2023]
 - 4 Bulletin. Országos Korányi Pulmonológiai Intézet. 2020, 1. Available at: <https://heyzine.com/flip-book/6f3add5fb9.html> [Last accessed on November 16, 2023]
 - 5 Kovács, M. Központi Statisztikai Hivatal Demográfiai Évkönyv. Központi Statisztikai Hivatal. 2020. Available at: <https://www.ksh.hu/polc> [Last accessed on November 16, 2023]
 - 6 Almagro P, Hernandez C, Martinez-Cambor P, Tresserras R, Escarabill J: Seasonality, ambient temperatures and hospitalizations for acute exacerbation of COPD: a population-based study in a metropolitan area. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 10: 899-908, 2015. DOI: 10.2147/COPD.S75710
 - 7 Luan G, Yin P, Wang L, Zhou M: Association between ambient temperature and chronic obstructive pulmonary disease: a population-based study of the years of life lost. *Int J Environ Health Res* 29(3): 246-254, 2019. DOI: 10.1080/09603123.2018.1533533
 - 8 Hoffmann C, Hanisch M, Heinsohn JB, Dostal V, Jehn M, Liebers U, Pankow W, Donaldson GC, Witt C: Increased vulnerability of COPD patient groups to urban climate in view of global warming. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 13: 3493-3501, 2018. DOI: 10.2147/COPD.S174148
 - 9 Brzezińska-Pawłowska OE, Rydzewska AD, Łuczyńska M, Majkowska-Wojciechowska B, Kowalski ML, Makowska JS: Environmental factors affecting seasonality of ambulance emergency service visits for exacerbations of asthma and COPD. *J Asthma* 53(2): 139-145, 2016. DOI: 10.3109/02770903.2015.1075547
 - 10 Shen Y, Zhang X, Chen C, Lin Q, Li X, Qu W, Liu X, Zhao L, Chang S: The relationship between ambient temperature and acute respiratory and cardiovascular diseases in Shenyang, China. *Environ Sci Pollut Res Int* 28(16): 20058-20071, 2021. DOI: 10.1007/s11356-020-11934-2
 - 11 Zou J, Sun T, Song X, Liu YM, Lei F, Chen MM, Chen Z, Zhang P, Ji YX, Zhang XJ, She ZG, Cai J, Luo Y, Wang P, Li H: Distributions and trends of the global burden of COPD attributable to risk factors by SDI, age, and sex from 1990 to 2019: a systematic analysis of GBD 2019 data. *Respir Res* 23(1): 90, 2022. DOI: 10.1186/s12931-022-02011-y
 - 12 Wang Z, Zhou Y, Luo M, Yang H, Xiao S, Huang X, Ou Y, Zhang Y, Duan X, Hu W, Liao C, Zheng Y, Wang L, Xie M, Tang L, Zheng J, Liu S, Wu F, Deng Z, Tian H, Peng J, Wang X, Zhong N, Ran P: Association of diurnal temperature range with daily hospitalization for exacerbation of chronic respiratory diseases in 21 cities, China. *Respir Res* 21(1): 251, 2020. DOI: 10.1186/s12931-020-01517-7
 - 13 Lim YH, Hong YC, Kim H: Effects of diurnal temperature range on cardiovascular and respiratory hospital admissions in Korea. *Sci Total Environ* 417-418: 55-60, 2012. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.12.048
 - 14 Márovics G, Pozsgai É, Németh B, Czigány S, Németh-Simon S, Girán J: How vulnerable are patients with COPD to weather extremities?-A pilot study from Hungary. *Healthcare (Basel)* 10(11): 2309, 2022. DOI: 10.3390/healthcare10112309
 - 15 Ma Y, Zhao Y, Zhou J, Jiang Y, Yang S, Yu Z: The relationship between diurnal temperature range and COPD hospital admissions in Changchun, China. *Environ Sci Pollut Res* 25(18): 17942-17949, 2018. DOI: 10.1007/s11356-018-2013-3
 - 16 Song G, Chen G, Jiang L, Zhang Y, Zhao N, Chen B, Kan H: Diurnal temperature range as a novel risk factor for COPD death. *Respirology* 13(7): 1066-1069, 2008. DOI: 10.1111/j.1440-1843.2008.01401.x
 - 17 Gu S, Wang X, Mao G, Huang X, Wang Y, Xu P, Wu L, Lou X, Chen Z, Mo Z: The effects of temperature variability on mortality in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a time-series analysis in Hangzhou, China. *Environ Sci Pollut Res* 29(47): 71502-71510, 2022. DOI: 10.1007/s11356-022-20588-1
 - 18 Zhan ZY, Tian Q, Chen TT, Ye Y, Lin Q, Han D, Ou CQ: Temperature variability and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease: analysis of attributable disease burden and vulnerable subpopulation. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 15: 2225-2235, 2020. DOI: 10.2147/COPD.S260988
 - 19 Tian H, Zhou Y, Wang Z, Huang X, Ge E, Wu S, Wang P, Tong X, Ran P, Luo M: Effects of high-frequency temperature variabilities on the morbidity of chronic obstructive pulmonary disease: Evidence in 21 cities of Guangdong, South China. *Environ Res* 201: 111544, 2021. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111544
 - 20 Rai M, Breitner S, Huber V, Zhang S, Peters A, Schneider A: Temporal variation in the association between temperature and cause-specific mortality in 15 German cities. *Environ Res* 229: 115668, 2023. DOI: 10.1016/j.envres.2023.115668
 - 21 Zhang Y, Liu X, Kong D, Fu J, Liu Y, Zhao Y, Lian H, Zhao X, Yang J, Fan Z: Effects of ambient temperature on acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease: results from a time-series analysis of 143318 hospitalizations. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 15: 213-223, 2020. DOI: 10.2147/COPD.S224198
 - 22 Lam HCY, Chan EYY, Goggins WB 3rd: Comparison of short-term associations with meteorological variables between COPD and pneumonia hospitalization among the elderly in Hong Kong—a time-series study. *Int J Biometeorol* 62(8): 1447-1460, 2018. DOI: 10.1007/s00484-018-1542-2
 - 23 Phosri A, Sihabut T, Jaikanlaya C: Short-term effects of diurnal temperature range on hospital admission in Bangkok, Thailand. *Sci Total Environ* 717: 137202, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137202
 - 24 Molinari N, Chanez P, Roche N, Ahmed E, Vachier I, Bourdin A: Rising total costs and mortality rates associated with admissions due to COPD exacerbations. *Respir Res* 17(1): 149, 2016. DOI: 10.1186/s12931-016-0469-6

Received February 19, 2024
Revised March 20, 2024
Accepted March 23, 2024



Validation of 3D printed MAYO tubes and stethoscope in simulated medical environment – Tools fabricated with additive manufacturing for emergency care

Ferenc Molnar^a, Matyas Rendeki^a, Szilard Rendeki^{a,b}, Balint Nagy^{a,b}, Viktor Bacher^{a,b}, Peter Bogar^c, Adam Schlegl^d, Arnold Koltai^a, Peter Maroti^{a,c,*}, Gergely Marovics^e

^a University of Pecs, Medical School, Medical Skills Education and Innovation Centre, HU-7624, Pecs, Szigeti str. 12, Hungary

^b University of Pecs, Clinical Centre, Department of Anesthesiology and Intensive Care HU-7624, Pecs, Ifjusag str 13, Hungary

^c University of Pecs, Medical School, 3D Printing and Visualization Centre, HU-7624, Boszorkany str. 2, Hungary

^d University of Pecs, Clinical Centre, Department of Orthopaedics, HU-7632, Pecs, Akac str. 1, Hungary

^e University of Pecs, Medical School, Department of Public Health Medicine, HU-7624, Pecs, Szigeti str. 12, Hungary

ARTICLE INFO

Keywords:

3D printing
emergency medicine
MAYO tube
Stethoscope
medical simulation
Resuscitation
ABCDE

ABSTRACT

Emergency and disaster medical care often face resource or equipment shortages. 3D printing technology has been proven to be effective in cases with insufficient supply chains. MAYO tubes and stethoscopes are essential components of ABCDE patient examinations; however, 3D-printed variants have not been fully tested. These 3D-printed instruments were substituted and validated in a simulated pre-hospital environment.

In total, 26 participants were included in this study. Fifteen clinicians or paramedics with at least 3 years of professional experience and 10 medical students. One student was excluded because he had relevant experience with emergency care. As basic tasks, the placement of MAYO tubes and auscultation with stethoscopes were performed using medical simulators. 3D printed instruments were compared with conventional clinical devices by measuring the time required for the intervention, success rate, and user satisfaction. In the study FFF (Fused Filament Fabrication), SLS (Selective Laser Sintering), and SLA (stereolithography) 3D printing were used in this study.

The times required for implementation and auscultation were examined for each instrument. There was no significant difference between the MAYO tube ($p = 0.798$) and the stethoscope ($p = 0.676$). In the case of stethoscopy, the study investigated the correct diagnosis, and no significant difference was found ($p = 0.239$), although an interesting trend was observed. Regarding the MAYO tube, the study found no significant difference in correct position formation ($p = 0.163$). The experience levels of the groups did not influence these factors. However, significant differences in user satisfaction were found in both cases in favour of the conventional versions ($p < 0.001$).

Overall, the results of this study suggest that 3D-printed devices could be suitable replacements for clinic-based devices in emergency situations. The 3D-printed devices did not perform

* Corresponding author. University of Pecs, Medical School, Medical Skills Education and Innovation Centre; HU-7624, Pecs, Szigeti str. 12, Hungary.

E-mail address: maroti.peter@pte.hu (P. Maroti).

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20866>

Received 20 February 2023; Received in revised form 29 September 2023; Accepted 9 October 2023

Available online 16 October 2023

2405-8440/© 2023 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

inferiorly at any of the indicated points compared to their classical counterparts. However, the practical applicability of the devices used in this study requires further investigation.

1. Introduction

In recent decades, 3D printing technologies have become essential tools in various medical fields [1,2]. Previous studies have shown that it can effectively support the entire medical device development cycle and is considered a fast, cost-effective, and user-friendly method for prototyping [3–5]. In addition, during the COVID-19 pandemic, it played a key role in the production of personal protective equipment (PPE), valves, and adaptors for ventilators, and nasopharyngeal swabs, and teaching models were produced with additive manufacturing [6–9]. Studies have concluded that 3D printing is useful in case of supply shortages, and it is well known that it can help healthcare professionals at remote medical sites or in the case of catastrophic events [10–12].

In the case of critically ill patients who are expected to die without rapid assessment and intervention or to suffer permanent impairment of health [13,14], fast and effective treatment is fundamental regarding patient outcomes and long-term survival. Based on international standards, the ABCDE protocol must be used for critically ill unconscious patients. The first two steps of the procedure (A: airway, B: breathing) are indispensable for maintaining circulation. The airways can be sustained using endotracheal, nasopharyngeal, or MAYO tubes. MAYO tubes are simple airway management devices that are the most common and easiest to use, requiring no special skills or training. They are based on international guidelines and are the first recommended and preferred equipment for definitive treatment [15–17].

After securing the airways, the breathing functions were checked. For this purpose, stethoscopy is the gold standard of medical instruments [18]. These two devices are undoubtedly important for pre-hospital patient management and early treatment of critically ill individuals.

In the case of a catastrophic event, a pandemic, or remote medical sites where supply chains are unavailable or limited, 3D printing can be used to manufacture medical instruments. Previous studies have shown that 3D-printed stethoscopes can be comparable to standard instruments, such as Littmann Cardiology III [19], and smart solutions, such as smartphone-connected stethoscopes, can be fabricated as well [20–23]. A recent study involving four medical students and two instructors examined and proved the usability of 3D-printed stethoscopes in auscultation training, in which they simulated mitral stenosis, mitral regurgitation, and aortic stenosis [24]. Supraglottic airway management devices have been successfully developed and tested on Thiel embalmed bodies [25]; however, no previous work has reported the use of 3D printing for manufacturing MAYO tubes [26].

Although 3D printing technology has been used in almost all fields of medicine and the vast majority of medical instruments have been manufactured and tested in international studies, we did not find previous studies which aimed to critically evaluate 3D printed stethoscopes or MAYO tubes in real or simulated medical environments, involving a significant number of participants. In addition, a recent review indicated that 3D printing in critical care settings is strongly under-researched and under-utilized [26].

This study aimed to validate a 3D-printed stethoscope based on the Glia model [19] in a simulated pre-hospital environment and to prove its diagnostic effectiveness in a larger group of participants with different experience levels in emergency patient care. In addition, as an essential tool in critical care, 3D-printed MAYO tubes were investigated by our research group to determine their applicability and usability in the treatment of critically ill patients.

2. Materials and methods

2.1. 3D design and 3D printing of the medical instruments

For the manufacturing of the stethoscope, 3D models from a previous study were used [19]. The models were processed and repaired using AutoDesk Netfabb [Autodesk Inc.; United States of America, San Francisco]. PrusaSlicer software [Prusa Research a.s., Czech Republic, Prague] was used for the slicing process. After finalisation of the model, an Original Prusa i3 MK3S + [Prusa Research a.s.; Czech Republic; Prague] desktop FFF (Fused Filament Fabrication) device printed out the parts of the device, using PETG (Polyethylene Terephthalate-G) in a 1.75 mm filament form [Herz Hungária Kft.; Hungary; Üllő]. The infill density was 100 %, and the layer height was set to 200 μm . The stethoscope was printed at a printing speed of 60 mm/s using a 0.4 mm nozzle. The nozzle temperature was set to 240 $^{\circ}\text{C}$, while the printing bed temperature was 90 $^{\circ}\text{C}$.

Because there is no previous information about 3D printing of MAYO tubes in the scientific literature, we aimed to test different 3D printing technologies and materials for this purpose. After manual measurements, 3D models were prepared using the Rhinoceros 6 [Robert McNeel & Associates; United States of America; Washington] modelling software, and slicing was performed using printer-specific software. The MAYO tubes were produced using FFF (Ultimaker 3 Extended [Ultimaker B.; Netherlands; Utrecht], slicing: Ultimaker Cura), SLS (Sinterit Lisa rev.C [Sinterit Ltd.; Poland; Kraków], slicing: Sinterit Studio), SLA (stereolithography; Formlabs Form 2 [Formlabs Inc.; United States of America; Massachusetts], slicing: PreForm), 3D printer@@ For the FFF technology, the model was produced using flexible Thermoplastic Polyurethane (TPU) A95 [Ultimaker B.; Netherlands; Utrecht], and Polyvinyl Alcohol (PVA) was used as the support material [Formfutura BV; Netherlands; Nijmegen]. In this case, the nozzle size was 0.4 mm, and the printing speed was set to 25 mm/s. The nozzle temperature was 223 $^{\circ}\text{C}$ and the printing bed temperature was 60 $^{\circ}\text{C}$. For SLA 3D printing, Flexible V2 [Formlabs Inc.; United States of America; Massachusetts] resin was used, and for SLS, Flexa Black [Sinterit Ltd.; Poland; Kraków] material was selected in powder form. The infill density was 100 % in all cases, and the layer height was 100–100 μm

when FFF and SLA printings were carried out, and 125 μm when SLS technology was applied.

2.2. Participants

A total of 26 applicants participated in the study. Written consent was obtained from all participants according to the ethical approval of the study (Regional Research Ethical Committee of the University of Pécs Medical School (No. 7176 –PTE 2018). Applicants were divided into two groups based on their knowledge and experience in the fields of catastrophes and emergency medicine. The first group consisted of applicants with advanced clinical experience in this field: resident doctors and specialist doctors from the field of emergency care or anaesthesiology and paramedics with a minimum of 3 years of experience ($n^1 = 16$). The second group consisted of medical students from the Medical School at the University of Pécs, Hungary ($n^2 = 10$), indicating that these applicants had basic knowledge but no clinical experience in emergency medicine. Medical students were enrolled only in the third year of their medical training after entering the preclinical training phase. One medical student had previous clinical experience due to his part-time job in a pre-hospital; thus, this student was excluded from the study (Fig. 1).

2.3. Evaluation criteria for the efficiency of the equipment

The 3D printed devices were tested in simulated emergency situations, where the applicants had to acquire the required skills while using the instruments on the Laerdal Airway Management Trainer (LATM; USA, 167 Myers Corners Rd, Wappingers Falls, NY, United States, New York) (Fig. 2.). To measure the efficiency of the stethoscopes, a TCCS-Cindy [TCCS-S] patient simulator system was used (Fig. 2). (USA: 1007 Old Philadelphia RD, Bldg 1 B, Aberdeen, MD 21001). All the used devices and simulators can be seen on Fig. 2(A-D). To evaluate the task completion efficiency of the applicants, standardised evaluation sheets were prepared (Supplementary Material can be found in the Data Repository) for both the MAYO tubes and stethoscopes. The participants completed evaluation sheets after each session. To assess the applicant experience, participants completed a satisfaction survey (Likert Scale) as a feedback evaluation tool [27].

Airway management tasks were performed with all three 3D-printed MAYO tubes and a control clinical instrument. The airway management procedure was considered successful, if, after insertion of the instrument into the LATM, the observer was able to perform 2 successful Bag-Valve-Mask (BVM) ventilation out of 3, meaning that at least 450 ml air volume inflated the artificial lungs of the simulator. The maximum available time for inserting the instrument and three 3 ventilation attempts was 2 min. If the instrument was

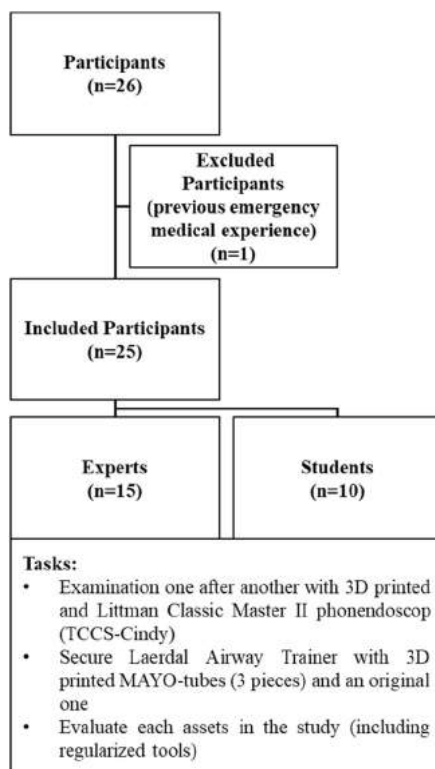


Fig. 1. Flow chart representing the study protocol for participant selection. A total of 26 participants were initially enrolled for the study. One participant was subsequently excluded from the "medical student" group due to previous emergency medical experience. The remaining 25 participants were then classified into "expert" and "medical student" user groups.

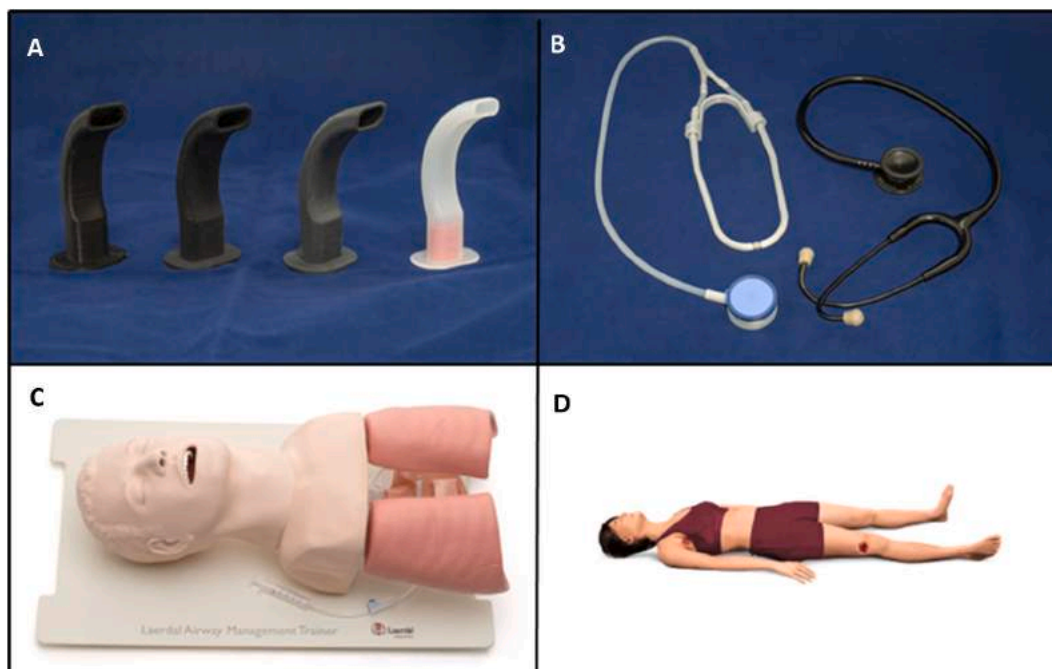


Fig. 2. Instruments and simulators employed in the study. (A) Sequential images of MAYO tube variants, from left to right: TPU A95, Flexa Black, Flexible V2, and control MAYO tube. (B) Image of a 3D printed stethoscope (grey; left side) alongside a Littman Classic II stethoscope (black; right side). (C) Image of the tactical casualty care simulator "Sindy" utilized in the assessment. (D) Image of the Laerdal® Airway Management Trainer engaged in the evaluation process of the MAYO tube variants. The images have been used by the written consent of the respected owners.

unable to inflate the artificial lung, at least half of the ventilated air volume inflated the stomach, or the 2-min time limit was exceeded, the attempt failed. This was monitored according to the feedback from the LATM. Each participant attempted airway management using all four instruments and was evaluated. Each participant attempted airway management in a pre-defined order according to the instruments. Similarly, the time interval and success rate were measured to evaluate the stethoscope, and all devices were evaluated by the users using a Likert scale.

In the case of the stethoscope, the participants had to try to detect physiological and pathological lung sounds by examining four pre-defined points on the TCCS-S with both the previously described 3D-printed stethoscope and the control instrument. In this study, the Littman Classic II (3M-Littman - 55424 St. Paul Minnesota, 55144-1000 US) stethoscope served as the control instrument, as it is one of the stethoscopes most commonly used by emergency services and hospitals in Hungary. In each case, the TCCS-S either simulated physiological breathing sounds, or pathologically weaker/absent breathing sounds associated with pneumothorax. For each applicant, physiological and pathological breathing sounds were randomly assigned to one of the stethoscopes. Each applicant then made an auscultation attempt with each stethoscope, and after each attempt, the attendant reported the result of the auscultation to the observer. An auscultation attempt was considered successful if the participant reported the correct breathing sounds to the observer [28,29]. The available time frame was maximised at 3 min for each instrument. If the time limit was exceeded or the participant reported an incorrect auscultation result, the attempt was marked as a failure. In the experiment, the auscultation time (s) and diagnostic accuracy (correct/incorrect diagnosis) were measured along with the level of satisfaction of the participants (Likert scale).

2.4. Statistical analysis

SPSS 26.00 (IBM Corporation, Armonk, NY, US) was used for the statistical analysis. The types of statistical tests used are indicated in each figure legend. In each case, the Shapiro-Wilk normality test and Levene's test were used, and the appropriate parametric (ANOVA) or non-parametric (Wilcoxon, Mann-Whitney, or Kruskal-Wallis tests) statistical tests were selected. The chi-square test was used to assess categorical variables.

3. Results

3.1. Comparison of the 3D printed and the Littmann Classic II stethoscope

The stethoscopes were compared based on the participants' auscultation time, diagnostic accuracy, and subjective ratings. The time intervals needed for competition of different tasks are summarized on Fig. 4 (A,B). The auscultation time interval showed no difference between the control and the 3D printed stethoscopes (median \pm sd, 29 ± 21.46 s vs. 27 ± 14.43 s, $p = 0.864$) (Fig. 3B). As previous

user experience can greatly influence auscultation time, we also examined the time interval in different user groups. Our results showed no statistically significant differences in auscultation time between user groups (Littmann Classic experts vs. students: $p = 0.115$, 3D printed experts vs. students: $p = 0.216$). However, the auscultation time did not differ significantly in either user group (median \pm sd, expert user group: 25 ± 10.41 s vs. 25 ± 10.31 s, $p = 0.460$; medical student user group: 29.5 ± 29.5 s, 32 ± 18.36 s, $p = 0.552$) (Fig. 3.).

Each auscultation attempt resulted in either a correct or incorrect diagnosis; thus, diagnostic accuracy could be determined. Surprisingly, using a 3D printed stethoscope slightly improved the diagnostic accuracy; however, this difference was not significant (ratio of correct/incorrect diagnosis, 14:11 vs. 18:7, $p = 0.248$) (Fig. 4. A). The Likert scale was used as a multidimensional subjective rating to evaluate the user experience following auscultation attempts. Based on this, the overall rating of the 3D printed stethoscope was significantly lower compared to the Littman classic II (median \pm sd, 4.3 ± 0.62 score vs. 3.5 ± 0.59 score, $p < 0.001$). Despite the 3D-printed stethoscope, the participants made a diagnosis without a significant difference. They rated their ability to auscultate more effectively using the Littman Classic II stethoscope (median \pm sd, 5 ± 0.64 score vs. 4 ± 0.9 score, $p = 0.004$). They also found it to be better suited for this purpose (median \pm sd, 5 ± 0.9 score vs. 4 ± 0.9 score, $p = 0.005$). However, the 3D-printed stethoscope was not affected by the rigidity of plastic. (median \pm sd, 5 ± 1.2 score vs. 4 ± 1.2 score, $p = 0.098$).

3.2. Comparison of the 3D printed and classical MAYO tube variants

The different MAYO tubes were compared based on the time interval required for airway management, the success rate of airway management, and subjective ratings by the users. The duration of the airway management attempts showed no significant difference between the different MAYO variants (median \pm sd, conventional MAYO tube vs. TPU A95 vs. Flexible V2 vs. Flexa Black, 2.79 ± 1.27 s vs. 3 ± 1.49 s vs. 2.7 ± 1.21 s vs. 3 ± 1.76 s, $p = 0.798$) (Fig. 3. A). Similarly, the success rate of airway management did not differ among different MAYO variants (ratio of successful/failed attempts: conventional MAYO tube vs. TPU A95 vs. Flexible V2 vs. flexible black, 22:3 vs. 18:7 vs. 20:5 vs. 18:7, $p = 0.163$) (Fig. 4. B). A Likert scale was used to evaluate user experience after airway management attempts.

The subjective analysis revealed that the Flexible V2 MAYO variant received significantly lower rating scores compared to every other MAYO variant (median \pm sd, conventional MAYO tube vs. TPU A95 vs. Flexible V2 vs. Flexa Black, 4.57 ± 0.487 score vs. 4.28 ± 0.52 score vs. 3.6 ± 0.54 score vs. 4.28 ± 0.66 score, conventional MAYO tube vs. Flexible V2 $p < 0.001$, TPU A95 vs. Flexible V2 $p < 0.001$, Flexa Black vs. Flexible V2 $p < 0.001$) (Fig. 5). The conventional MAYO tube, TPU A95, and Flexa Black MAYO variants were rated as equally good. Interestingly, the 3D-printed MAYO tubes were copied from the original devices with almost no modifications. The participants found this to be identical to the conventional MAYO tube they were already familiar with (mean \pm sd, conventional MAYO tube vs. TPU A95 vs. Flexible V2 vs. Flexa Black, 4.48 ± 0.82 score vs. 4.28 ± 0.54 score vs. 4 ± 0.7 score vs. 4.16 ± 0.7 score, $p = 0.104$). However, they still considered the design to be less good than the conventional MAYO tube (median \pm sd, conventional MAYO tube vs. TPU A95 vs. Flexible V2 vs. Flexa Black, 5 ± 0.46 score vs. 4 ± 0.51 score vs. 4 ± 0.82 score vs. 4 ± 0.72 score, $p < 0.001$). The subjective rating of participants are summarized on Fig. 5. (A,B).

4. Discussion

The study proved that 3D printing technology can effectively fabricate instruments for emergency medical care in the case of a supply shortage. The usability of 3D-printed medical devices is feasible, regardless of the practitioner's experience. There were no

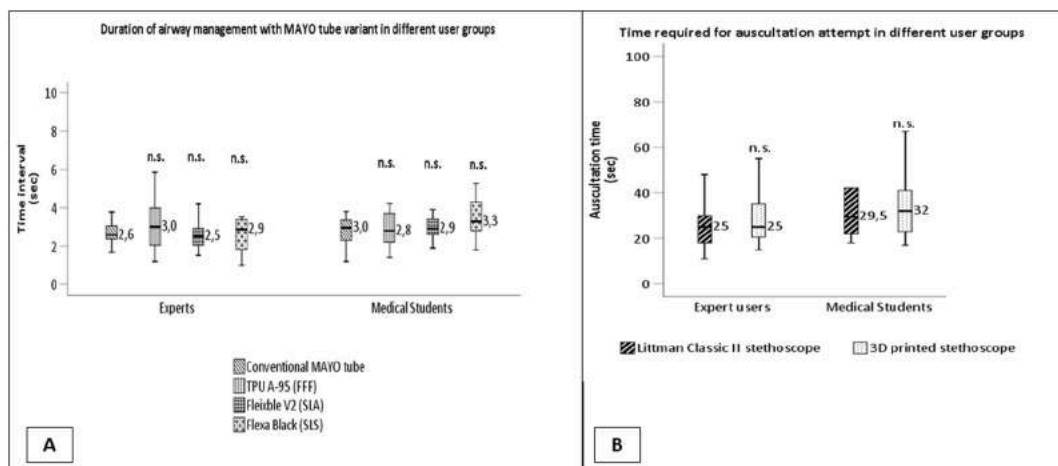


Fig. 3. Comparative analysis of time intervals required for airway management and auscultation tasks between expert and student groups. (A) Duration of the airway management attempts using MAYO tube variants; n.s.: non-significant (Kruskal-Wallis test, $p = 0.798$). (B) Comparison of the time interval necessary for the auscultation attempt; n.s.: non-significant (Wilcoxon test, $p = 0.864$).

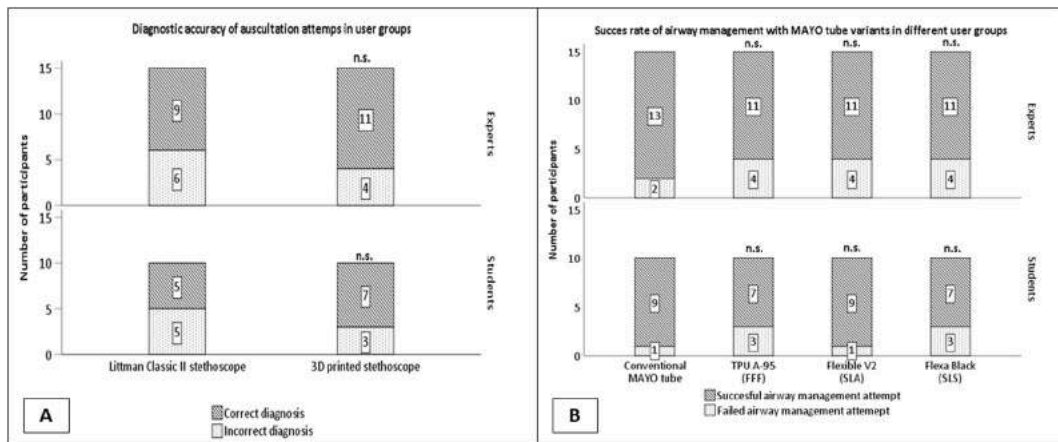


Fig. 4. Success rate and diagnostic accuracy employing all instruments in expert and student groups. (A) Success rate of airway management attempts with MAYO tube variants; n.s.: non-significant (Chi-square test, $p = 0.163$). (B) Comparison of the diagnostic accuracy in auscultation attempts; n.s.: non-significant (Chi-square test, $p = 0.239$).

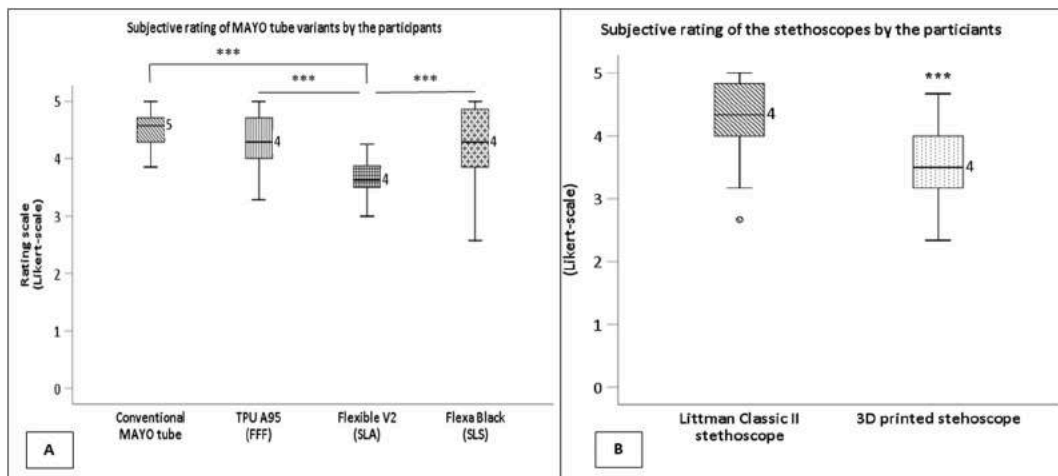


Fig. 5. Participants' subjective ratings of the MAYO tube variants and stethoscopes, using a Likert scale. (A) MAYO tube variants rating; ***: $p < 0.001$ (Wilcoxon test, comparisons: conventional MAYO tube vs. Flexible V2 $p < 0.001$, TPU A95 vs. Flexible V2 $p < 0.001$, Flexa Black vs. Flexible V2 $p < 0.001$). (B) Subjective rating of the stethoscopes; ***: $p < 0.005$ (Wilcoxon test).

significant differences in diagnostic accuracy or time to implementation. The satisfaction survey showed that participants preferred the tools they learned through practical work regardless of their performance. Previous studies have identified tools that are part of the ABCDE approach to patient assessment [13,18]. Conventional medical devices are more expensive and difficult to access in remote locations or in the case of a catastrophic event; however, they can be produced in a cost-effective form using 3D printing technology of almost the same quality [5,8]. It can also be implemented in a more technologically advanced manner than stethoscopes. 3D printing technology can be connected to electronic devices to digitise the recorded auscultation findings, which can form the basis for further investigation. Further studies have shown that devices made with 3D printing technology can be used for patient testing. Therefore, it was incorporated into the ABCDE approach for rapid emergency and disaster care assessment. 3D-printed devices are state-of-the-art, and their engineering design allows them to be fabricated much more precisely or individually. In certain environments, they can perform better than, or close to, their clinically used counterparts. The present study compared the state-of-the-art, high-standard, high-quality Littman Classic II to a 3D-printed stethoscope. These results were surprising regarding diagnostic accuracy, as no significant differences were observed. However, an interesting trend was observed for the 3D-printed device. The diagnostic accuracy was better in this group. Owing to the low number of participants, repeating the study could yield interesting results if repeated with more participants. The intervention duration was almost the same for both devices. Satisfaction was significantly higher in both groups in favour of conventional clinic-based instruments. The main issue raised by the respondents was the inconvenience of 3D-printed devices.

In addition, different appearances and few similarities between appearance-bothered users. The Littman Classic II scored better in

almost all aspects, except for the rigidity of the device, where no significant difference was found. Similar results were obtained for the MAYO tubes. However, no significant differences were found in the correct position or duration of placement. Users clearly preferred conventional MAYO tubes. The duration of the placement and assessment are independent of the type of device and depend more on the clinical experience. This is in line with the previous experience in this study. Experienced providers have better manual skills and are more confident even when newer devices are used.

Technological advances and the growing accessibility of three-dimensional (3D) printing devices have allowed their use in emergency and disaster medicine. However, further investigation is required at this stage, although there was no significant difference in diagnostic accuracy or task execution. Based on the user feedback, it is not suitable for daily use. However, in the case of a disaster where infrastructure and supply chains are damaged, it may be suitable to solve temporary equipment shortages, as presented in previous studies.

The simulated environment and relatively low number of participants limited the study's accuracy. Furthermore, the study did not cost-effectively assess 3D printed devices. Further studies are necessary to regularize 3D printed devices in everyday practice; however, they can be made available to us in a disaster situation. However, repeating the study with more participants forms our future plans, and in an even more complex situational practical environment, expanding the trials to cadavers or real-life situations.

5. Conclusion

3D-printed medical devices are considered to possess great potential because of their accessibility, versatility, and ability to customise devices in a wide range of scenarios, including pre-hospital care, remote medical operations, and supply shortages. The presented work examined how additive manufacturing technology can be used to fabricate medical instruments for pre-hospital treatment and how these devices perform compared to their classical counterparts. Involving 25 volunteers and using standard medical simulators, we showed that the efficiency of the 3D printed stethoscope is comparable to that of traditional devices; however, based on subjective user experience, the volunteers preferred the original instruments. MAYO tubes fabricated using different 3D printing technologies (FFF, SLA, and SLS) performed equally well in the evaluations, and their efficacy did not differ from that of commercially available devices. Based on our findings, we conclude that stethoscopes and MAYO tubes can be successfully designed and manufactured using 3D technologies and that these devices show similar performance to their classical counterparts in a simulated medical environment. Our results suggest that 3D-printed devices can replace traditional medical devices in real-life clinical settings. Further trials within simulated or clinical settings with more participants are encouraged.

Funding information

Project no. TKP2021-NVA-06 has been implemented with the support provided from the National Research, Development and Innovation Fund of Hungary, financed under the TKP2021-NVA funding scheme. The was supported by the project No. 2022–2.1.1-NL-2022-00012 "National Laboratory of Cooperative Technologies", provided by the Ministry of Culture and Innovation from the National Research, Development and Innovation Fund of Hungary, financed by the National Laboratories program.

Ethical approval

The study was approved by the Regional Research Ethical Committee of University of Pécs Medical School (No. 7176 –PTE 2018).

Data availability statement

All the raw data and supplementary material can be found in the Mendeley Data Repository System under the following DOI: *Maroti, Peter; Molnar, Ferenc; Rendeki, Matyas; Rendeki, Szilard; Nagy, Balint; Bacher, Viktor; Bogar, Peter; Schlegl, Adam; Koltai, Arnold (2023), "Data for the publication entitled - " Validation of 3D printed MAYO Tubes and Stethoscope in Simulated Medical Environment – Tools Fabricated with Additive Manufacturing for Emergency Care"*, Mendeley Data, V1, <https://doi.org/10.17632/y4zms5v67t.1>; URL: <https://data.mendeley.com/datasets/y4zms5v67t/1>.

The 3D model of the stethoscope have been downloaded from the original article of Pavlovsky et al.: *Pavlosky A, Glauche J, Chambers S, Al-Alawi M, Yanev K, Loubani T (2018) Validation of an effective, low cost, Free/open access 3D-printed stethoscope. PLoS ONE 13(3): e0193087. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193087>.*

CRediT authorship contribution statement

Ferenc Molnar: Conceptualization, Formal analysis, Investigation, Methodology, Project administration, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Matyas Rendeki:** Methodology, Resources, Data curation, Writing – original draft. **Szilard Rendeki:** Resources, Supervision, Validation, Writing – original draft. **Balint Nagy:** Methodology, Resources, Supervision, Validation, Visualization. **Viktor Bacher:** Conceptualization, Investigation, Writing – original draft. **Peter Bogar:** Methodology, Software, Visualization. **Adam Schlegl:** Conceptualization, Investigation, Validation. **Arnold Koltai:** Methodology, Supervision, Validation, Writing – original draft. **Maroti Peter:** Methodology, Project administration, Resources, Supervision, Validation, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Gergely Marovics:** Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Visualization, Writing – review & editing.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

We would like to heartfully say thank you for the support of the University of Pecs, Medical School, Medical Skills Education and Innovation Centre the 3D Printing and Visualization Centre of the University of Pecs. We kindly appreciate the help of Bence Manfai, who was responsible for creating the photos of the presented work.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20866>.

References

- [1] W.K. Durfee, P.A. Iaizzo, in: P.A. Iaizzo (Ed.), Chapter 21 - Medical Applications of 3D Printing, Eng. Med., Academic Press, 2019, pp. 527–543, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813068-1.00021-X>.
- [2] M.N. Nadagouda, V. Rastogi, M. Ginn, A review on 3D printing techniques for medical applications, *Curr. Opin. Chem. Eng.* 28 (2020) 152–157, <https://doi.org/10.1016/j.coche.2020.05.007>.
- [3] N. Nikitakos, I. Dagkinis, D. Papachristos, G. Georgantis, E. Kostidi, Chapter 6 - economics in 3D printing, in: G. Tsoulfas, P.I. Bangeas, J.S. Suri (Eds.), *3D Print. Appl. Med. Surg.*, Elsevier, St. Louis, 2020, pp. 85–95, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-66164-5.00006-4>.
- [4] A. Pentek, M. Nyitrai, A. Schiffer, H. Abraham, M. Bene, E. Molnar, R. Told, P. Maroti, The effect of printing parameters on electrical conductivity and mechanical properties of PLA and ABS based carbon composites in additive manufacturing of upper limb prosthetics, *Crystals* 10 (2020), <https://doi.org/10.3390/cryst10050398>.
- [5] R. Told, G. Marada, S. Rendeki, A. Pentek, B. Nagy, F.J. Molnar, P. Maroti, Manufacturing a first upper molar dental forceps using continuous fiber reinforcement (CFR) additive manufacturing technology with carbon-reinforced polyamide, *Polymers* 13 (2021), <https://doi.org/10.3390/polym13162647>.
- [6] Y.Y.C. Choong, H.W. Tan, D.C. Patel, W.T.N. Choong, C.-H. Chen, H.Y. Low, M.J. Tan, C.D. Patel, C.K. Chua, The global rise of 3D printing during the COVID-19 pandemic, *Nat. Rev. Mater.* 5 (2020) 637–639, <https://doi.org/10.1038/s41578-020-00234-3>.
- [7] N. Bharti, S. Singh, COVID-19: the use of 3D printing to address PPE shortage during a pandemic—a safety perspective, *ACS Chem. Health Saf.* 27 (2020) 335–340, <https://doi.org/10.1021/acsh.3c00089>.
- [8] S. Rendeki, B. Nagy, M. Bene, A. Pentek, L. Toth, Z. Szanto, R. Told, P. Maroti, An overview on personal protective equipment (PPE) fabricated with additive manufacturing technologies in the era of COVID-19 pandemic, *Polymers* 12 (2020), <https://doi.org/10.3390/polym12112703>.
- [9] G.A. Longhitano, G.B. Nunes, G. Candido, J.V.L. da Silva, The role of 3D printing during COVID-19 pandemic: a review, *Prog. Addit. Manuf.* 6 (2021) 19–37, <https://doi.org/10.1007/s40964-020-00159-x>.
- [10] Jennifer Loy, Peter Tatham, Ry Healey, Cassie L. Tapper, 3D printing meets humanitarian design research: creative technologies in remote regions, in: Andy M. Connor, Stefan Marks (Eds.), *Creat. Technol. Multidiscip. Appl.*, IGI Global, Hershey, PA, USA, 2016, pp. 54–75, <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-0016-2.ch003>.
- [11] J.Y. Wong, A.C. Pfahnl, 3D printed surgical instruments evaluated by a simulated crew of a mars mission, *Aerosp. Med. Hum. Perform.* 87 (2016) 806–810, <https://doi.org/10.3357/AMHP.4281.2016>.
- [12] T. Spruell, H. Webb, Z. Steley, J. Chan, A. Robertson, Environmentally sustainable emergency medicine, *Emerg. Med. J.* 38 (2021) 315, <https://doi.org/10.1136/emermed-2020-210421>.
- [13] M. Linders, B. Laura, W. De Boode, C. Fluit, M. Hogeveen, The ABCDE approach: a scoping review of quantitative and qualitative evidence, *Resuscitation* 155 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.08.044>, S9–S10.
- [14] J.R. Bengler, K. Kirby, S. Black, S.J. Brett, M. Clout, M.J. Lazaroo, J.P. Nolan, B.C. Reeves, M. Robinson, L.J. Scott, H. Smartt, A. South, E.A. Stokes, J. Taylor, M. Thomas, S. Voss, S. Wordsworth, C.A. Rogers, Effect of a strategy of a supraglottic airway device vs tracheal intubation during out-of-hospital cardiac arrest on functional outcome: the AIRWAYS-2 randomized clinical trial, *JAMA* 320 (2018) 779–791, <https://doi.org/10.1001/jama.2018.11597>.
- [15] S. Rendeki, D. Keresztes, G. Woth, Á. Mérei, M. Rozanovic, M. Rendeki, J. Farkas, D. Mühl, B. Nagy, Comparison of VividTrac®, Airtraq®, king Vision®, macintosh laryngoscope and a custom-made videolaryngoscope for difficult and normal airways in mannequins by novices, *BMC Anesthesiol.* 17 (2017) 68, <https://doi.org/10.1186/s12871-017-0362-y>.
- [16] A.C. Shekhar, I. Blumen, Out-of-Hospital intubation success rates vary based on transport environment, *J. Emerg. Med.* 62 (2022) 171–174, <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2021.10.031>.
- [17] M. Couret, *Revue Médicale Suisse : intubation trachéale et alternatives en préhospitalier*, *Rev. Médicale Suisse.* 16 (2020) 325–330, <https://doi.org/10.53738/REVMED.2020.16.681.0325>.
- [18] M. Abella, J. Formolo, D.G. Penney, Comparison of the acoustic properties of six popular stethoscopes, *J. Acoust. Soc. Am.* 91 (1992) 2224–2228, <https://doi.org/10.1121/1.403655>.
- [19] A. Pavlosky, J. Glauche, S. Chambers, M. Al-Alawi, K. Yanev, T. Loubani, Validation of an effective, low cost, Free/open access 3D-printed stethoscope, *PLoS One* 13 (2018), e0193087, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193087>.
- [20] C. Aguilera-Astudillo, M. Chavez-Campos, A. Gonzalez-Suarez, J.L. Garcia-Cordero, A low-cost 3-D printed stethoscope connected to a smartphone, in: 2016 38th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBC, 2016, pp. 4365–4368, <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591694>.
- [21] J. Thompson, Smartphone attachment for stethoscope recording, in: A. Rasooly, K.E. Herold (Eds.), *Mob. Health Technol. Methods Protoc.*, Springer New York, New York, NY, 2015, pp. 327–334, https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2172-0_22.
- [22] P.J. Bentley, iStethoscope: a demonstration of the use of mobile devices for auscultation, in: A. Rasooly, K.E. Herold (Eds.), *Mob. Health Technol. Methods Protoc.*, Springer New York, New York, NY, 2015, pp. 293–303, https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2172-0_20.
- [23] Y. Tyumeneva, Y. Sudorgina, A. Kislyonkova, M. Lebedeva, Ordering motivation and Likert scale ratings: when a numeric scale is not necessarily better, *Front. Psychol.* 13 (2022), <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2022.942593>.
- [24] T. Ortegon, M. Vargas, A. Uribe-Quevedo, B. Perez-Gutierrez, D. Rojas, B. Kapralos, Development of a 3D printed stethoscope for virtual cardiac auscultation examination training, in: 2017 IEEE Healthc. Innov. Point Care Technol. HI-POCT, 2017, pp. 125–128, <https://doi.org/10.1109/HIC.2017.8227600>.
- [25] T. Kimijima, M. Edanaga, M. Yamakage, Superior sealing effect of a three-dimensional printed modified supraglottic airway compared with the i-gel in a three-dimensional printed airway model, *J. Anesth.* 32 (2018) 655–662, <https://doi.org/10.1007/s00540-018-2531-7>.

- [26] N. Abeysekera, K.A. Whitmore, A. Abeysekera, G. Pang, K.B. Laupland, Applications of 3D printing in critical care medicine: a scoping review, *Anaesth. Intensive Care* 49 (2021) 164–172, <https://doi.org/10.1177/0310057X20976655>.
- [27] H. Simpson, Respiratory assessment, *Br. J. Nurs.* 15 (2006) 484–488, <https://doi.org/10.12968/bjon.2006.15.9.484>.
- [28] R. Sethia, Y. Alfayez, K.K. VanKoevinger, N.B. Seim, Altered Airway Anatomy Course Using 3D-Printed Models for Medical Students, *Otolaryngol. Neck Surg.* 2022, 01945998221117507, <https://doi.org/10.1177/01945998221117507>.
- [29] J. He, G. Liu, T.H.T. Mai, T.T. Li, Research on the allocation of 3D printing emergency supplies in public health emergencies, *Front. Public Health* 9 (2021). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2021.657276>.