

# A SARS-CoV-2 vírusfertőzés élsportolókra gyakorolt hatásai

Doktori tézisek

**Dr. Fodor Eszter**

Magyar Testnevelési és Sporttudományi Egyetem  
Sporttudományok Doktori Iskola



Témavezető: Dr. Lacza Zsombor, az MTA doktora

Hivatalos bírálók: Dr. Szelid Zsolt, egyetemi docens, PhD, habil.  
Dr. Katona Gábor, egyetemi docens, PhD

Budapest  
2026

## **1. Bevezetés**

A járványok évszázadok óta visszatérő jelenségek, amelyek folyamatosan kihívások elé állítják a társadalmakat. A történelem legpusztítóbb pandémiái közé tartozik az 1347–1352 közötti pestis (kb. 17–28 millió halálest), az 1817 óta ismétlődő kolerajárványok (összesen ~40 millió halálest), valamint az 1918–1919-es spanyolnátha (~50 millió halálest). A 21. századból a SARS-1 (774 halálest), az Ebola (~11 000) és a SARS-CoV-2 (>4 millió) emelhető ki.

### **A pandémia fogalma**

A „pandémia” kifejezést először 1666-ban írták le: országhatárokon és földrészekén átívelő, nagy embertömeget érintő fertőző betegség. A fogalom a görög „pan” (minden) és „demosz” (nép) szavakból ered. 1948 óta a WHO dönt a pandémiák kihirdetéséről. A kihirdetés rendszerint átfogó korlátozásokat eredményez, amelyek az egész társadalmat érintik, ugyanakkor bizonyos szubpopulációk – például az élsportolók – különösen kitétek a fertőzésnek és a korlátozások következményeinek.

### **Előzmények**

A 21. század első visszatérő járványa a Kínából kiinduló SARS volt (2003): 7 hónap alatt 33 ország, 8456 eset, 809 halálest. Klinikai jellegzetességei: magas láz, myalgia, száraz köhögés, fejfájás, dyspnoe; gyakori laborkép: leukopenia CD4/CD8 csökkenéssel, thrombocytopenia, emelkedett D-Dimer, és gyenge válasz széles spektrumú antibiotikumokra. 2012-ben jelent meg a MERS; mindkettő zoonózis. A SARS-CoV-2 genomja ~79%-ban egyezik a SARS-CoV-val és ~50%-ban a MERS-CoV-val. A halálozás a SARS és MERS esetén magas (9,5% és 34,4%), míg a SARS-CoV-2 esetén ~2,13%.

### **A SARS-CoV-2 megjelenése és terjedése**

Wuhanból 2019. december 12-től jelentek meg az első esetek; 2020. január 26-ig 2794 laboratóriumiilag igazolt esetet és 80 halálestet regisztráltak. 2020. március 13-án a WHO pandémiának nyilvánította a SARS-CoV-2-t, ami világszintű korlátozásokat hozott. Magyarországon a járvány a kezdetekben távolinak tűnt, ám rövid időn belül nyilvánvalóvá vált a hazai következmények súlya is.

### **Sport és pandémia: egy sérülékeny szubpopuláció**

A sportélet 2020 tavaszán gyakorlatilag leállt; a Tokiói Olimpiát egy évvel halasztották, végül nézők nélkül, folyamatos orvosi kontroll mellett rendezték meg. Az élsportolók fokozott

kitettségének okai: intenzív utazás, csoportos edzések, szoros fizikai kontaktus, gyakran a korai gócpontokban zajló tréningek (pl. Spanyolország, Olaszország). A SARS-CoV-2 természetéről kevés, élsportolókra vonatkozó adat állt rendelkezésre a pandémia korai szakaszában. A nagy sportesemények halasztása sokszor társadalmi-gazdasági nyomásra történt, nem jól kontrollált epidemiológiai számítások alapján. A finanszírozási kényszerek miatt a sportban gyakran a folytathatóság élvez elsőbbséget az orvosi óvatossággal szemben; extrém példa, hogy a 2022-es Tour de France-on pozitív teszt után is volt, aki folytatta a versenyt.

### **Klinikai lefolyás és gyulladáisos válasz**

Fiataloknál a COVID-19 többnyire enyhe, 5–7 nap alatt lezajlik, ugyanakkor a 7–9. napon súlyosbodás léphet fel, akár ARDS-ig és MOF-ig, amit a „citokin vihar” (magas IL-6, IL-8, TNF- $\alpha$ ) jelez, A gyulladáisos citokinek monitorozása fontos. Élsportolóknál edzés közben miokinek (IL-6, IL-8, TNF- $\alpha$ ) emelkednek, ami befolyásolhatja a fertőzésre adott immunválaszt; ezért reagálhatnak másképp, mint az átlagpopuláció.

### **Konvaleszcens plazmaterápia**

A súlyos COVID-19 kezelésében a felépült donoroktól származó plazma alkalmazása korán megjelent. A hatás alapja főként a vírusspecifikus neutralizáló antitestek (IgG, IgM; a nyálkahártya-védelemben az IgA is fontos), továbbá potenciális immunszabályozó, gyulladáscsökkentő komponensek. Magyarországon a plazmaadási kampány a válogatott sportolók körében is sikeres volt; az aktív élsportolók WADA-szabályok miatt nem adhattak plazmát, de adatgyűjtésben részt vettek. Öt olimpiai sportág (úszás, kajak, birkózás, vívás, kerékpár) reprezentatív mintát adott a SARS-CoV-2 által kiváltott immun- és gyulladáisos reakciók vizsgálatához. A COVID-19 akut vírusos pneumóniát okozhat, az esetek ~15%-ában oxigénigénnyel, ~5%-ban gépi lélegeztetéssel és ~2,3% letalitással.

### **A vakcinák fejlesztésének immunológiai alapjai**

A koronavírusok felszíni tüskefehérjéje felelős a receptorkötésért és membránfúzióért. A SARS-CoV-2 S-fehérje az ACE2-höz kötődik, majd endocitózissal jut be a sejtbe; ezt követi a membránfúzió és a genom felszabadulása. Az S-fehérje, különösen az RBD, fő antitest-célpont; az ide kötődő antitestek semlegesítik a vírust. Emiatt az S-fehérje korán elsődleges vakcinacélpont lett.

### **Vakcinák hatékonysága és sportolói relevancia**

A konvaleszcens plazma mellett elengedhetetlenek voltak a vakcinák a fertőzéshullámok megfékezéséhez. Az új platformok (különösen az mRNS-vakcinák) miatt a korábbi inaktivált vírusvakcinákkal való összevetés korlátozott. Az élsportolók és egészségügyi dolgozók az elsők között kaptak oltást Magyarországon és másutt is, ezért kulcskérdés az oltások sportspecifikus hatásainak megértése. A BNT162b2 (Pfizer) szignifikánsan csökkentette az esetszámot és a súlyos lefolyást, csökkentve a kórházi ellátás és a halálozás kockázatát. A legtöbb vizsgálat egy-egy vakcinát hasonlított a kontrollhoz ritkábban több vakcinát egymáshoz. Doroftei és mtsai 19 publikáció metasztintű összevetésével kísérelték meg az eltérő tanulmányok eredményeinek egységesítését, de a módszertani heterogenitás korlátozza a következtetéseket.

### **Magyarországi oltóanyagok**

Magyarország Európán belül egyedülálló módon nyolc COVID-19 vakcinát engedélyezett: EMA-engedélyes (ChAdOx1/AstraZeneca; BNT162b2/Pfizer; mRNA-1273/Moderna) és keleti vakcinák (BBIBP-CorV/Sinopharm; Gam-COVID-Vac/Sputnik V) is elérhetőek voltak. Ez különleges lehetőséget teremtett az azonos körülmények között, egységes módszertannal végzett hatékonysági összehasonlításra.

### **Immunológiai háttér**

A vakcinák a humorális (antitestek) és a sejtes (citotoxikus T-sejtek) választ egyaránt aktiválják. Az immunválasz idővel csökkenhet, sőt egyesek nem reagálnak megfelelően. Sok ország csak 2–3 vakcinát alkalmazott, ami nehezíti az átfogó összehasonlítást. Az öt leggyakrabban használt oltás egységes környezetben történő összevetése segíthet megérteni, miért fordult elő vakcinázást követően pozitív teszt, illetve azonos oltás után is miért különbözött a tünetek erőssége élsportolóknál.

### **Következtetések és gyakorlati felhasználások**

Az élsportolók sajátos kitettsége és immunfiziológiája indokolja a célzott járványügyi és orvosi protokollok kidolgozását, rendszeres, sportterheléshez igazított állapotmonitorozás (citokinek, szív-tüdő funkciók), verseny- és edzésprotokollok rugalmassága lokális járványhelyzethez igazítva, vakcinastratégiák személyre szabása (időzítés, booster), korai visszatérési (Return-to-Play) algoritmusok sportágspecifikus adaptációja, a plazmaterápiás és más passzív immunizációs lehetőségek vizsgálatának folytatása az élsport sajátosságai mellett.

## 2. Célkitűzések

A világot 2020-ban megrengető SARS-CoV-2 világjárvány nemcsak az egészségügyi rendszereket állította kihívás elé, hanem az élet szinte minden területére hatást gyakorolt, köztük a sportra is.

Az élsportolók, akik a fizikai és mentális teljesítőképesség határán dolgoznak, különösen érdekes csoportot képviselnek a vírusfertőzés hatásainak vizsgálatában. Hogyan reagál egy olyan szervezet, amely edzettsége miatt extrém stressznek van kitéve, egy világszerte súlyos következményekkel járó fertőzésre? Vajon az élsportolók immunválasza eltér a hétköznapi emberekéétől? Hogyan hat ez a teljesítményükre, felépülésükre, mennyiben hatásosak esetükben a különböző immunterápiák?

A kutatás célja, hogy átfogó képet nyújtson a SARS-CoV-2 fertőzés élsportolókra gyakorolt hatásairól, különös tekintettel az immunológiai mechanizmusokra és a potenciális terápiás lehetőségekre. A dolgozat célkitűzései közé tartozik a SARS-CoV-2 ellen kialakuló immunválasz mélyebb megértése, a gyulladásos folyamatok szerepének feltárása, valamint a különböző kezelési módszerek hatékonyságának elemzése.

A jelen tanulmány nemcsak az élsportolók egészségére koncentrál, hanem olyan kérdéseket is érint, amelyek túlmutatnak a sport világán. Az eredmények hozzájárulhatnak a SARS-CoV-2 okozta megbetegedések és azok kezelése terén szerzett ismeretek bővítéséhez, és alapot teremthetnek a jövőbeli kutatásokhoz.

Mindezek alapján jelenlegi kutatásainkban a következő célokat tűztük ki:

- Élsportolók SARS-CoV-2 specifikus Immunglobulin G (IgG), Immunglobulin M (IgM) és Immunglobulin A (IgA) mediált immunválaszának vizsgálata és a vírus neutralizációs szint meghatározása SARS-CoV-2 fertőzés lezajlását követő hat-nyolc hétben.
- Citokin vihart befolyásoló gyulladásos citokinek vizsgálata élsportolóknál, vérplazma mintából.

- A konvaleszcens vérplazmaterápia gyulladáscsökkentő hatásának kimutatása és annak a kórházi kezelés időtartamára gyakorolt hatása, SARS-CoV-2 vel fertőzött hospitalizált betegekben.
- A Magyarországon elérhető oltások immunológiai hatásának vizsgálata, oltott és betegségén átesett személyeknél.

### **3. Módszerek**

#### **1. Vizsgálati módszerek élsportolóknál**

Önkéntesen jelentkező magyar válogatott élsportolók (úszás, vívás, birkózás, kerékpár, kajak-kenu) vettek részt a vizsgálatban. 2020 márciusában mindannyian nemzetközi edzőtáborokhoz/rendezvényekhez voltak melyen vírusfertőzésen estek át. A pandémia első hullámában 97 sportolót teszteltünk, közülük 11 volt PCR-pozitív. Több, tipikus tüneteket mutató, kontaktnak minősülő sportoló a mintavételkor már PCR-negatív volt. A korábban tünetes és/vagy igazoltan pozitív sportolók (n=29) vérmintavételre is jelentkeztek. A kohorszban olimpiai-, világ- és Európa-bajnok sportolók is szerepeltek.

#### **PCR vizsgálat**

A vírus RNS-ének kimutatásához orr-/szájgarati mintavételt követően PCR-vizsgálatot végeztünk. A mintavételt mikrobiológus végezte, a mérések akkreditált laborban történtek (Neumann Laboratórium).

#### **Vírusneutralizáció**

A neutralizációs titer meghatározását a PTE Nemzeti Virologiai Laborjában, legmagasabb biobiztonsági szinten végeztük. VeroE6 sejtvonalon (DMEM + 2% FBS, 1% penicillin–streptomycin) történt a vizsgálat; a SARS-CoV-2 titerét TCID<sub>50</sub> assay-vel határoztuk meg. A hőkezelt (56 °C, 30 perc) szérum kétszeres sorozathígításait 100 TCID<sub>50</sub> vírussal inkubáltuk, majd a konfluens sejteket megfertőztük. Fenntartó táptalaj hozzáadása után 3 napos, 37 °C/5% CO<sub>2</sub> inkubáció következett.

#### **ELISA: IgG/IgM/IgA**

A plazmamintákban a SARS-CoV-2 nukleokapszid elleni IgG/IgM (Microgen/Genetics) és a tüskefehérje elleni IgG/IgA (Euroimmun) szintjét szemikvantitatív ELISA-val mértük (TE labor).

#### **Gyulladásos citokinek**

27 citokin (pl. IL-6, IL-8, TNF- $\alpha$ , IFN- $\gamma$ , IL-1 $\beta$ , IL-10, MCP-1, IP-10, VEGF, PDGF-BB stb.) plazmaszintjét Bio-Plex™ Human Cytokine Assay (#M500KCAF0Y, Bio-Rad) segítségével vizsgáltuk.

## **2. Konvaleszcens vérplazma terápia – klinikai vizsgálat**

Prospektív, beavatkozással járó vizsgálat, NNK és TUKEB engedéllyel (IV/3457/-2-2020/EKU), regisztráció: NCT04345679. Etikai okokból placebo- és kontrollesoport nem indult. A cél a terápia biztosítása volt a járvány korai szakaszában, specifikus antivirális szerek hiányában. Elsődleges végpont a túlélés volt; másodlagos végpont pedig a kórházi ápolási idő hossza volt. Elsődlegesen vizsgált laboratóriumi markerek: fehérvérsejtszám, ferritin, CRP, IL-6.

### **Bevonási/kizárási kritériumok**

Donor bevonás kritériumok :

- 18–65 év
- felgyógyult SARS-CoV-2-fertőzés
- laboratóriumiilag igazolt SARS-CoV-2 fertőzés (PCR vagy IgG-pozitív ELISA a nukleokapszid ellen, >24 U/ml)
- véréadási feltételeknek való megfelelés.

Donor kizárás:

- terhesség,
- aktív SARS-CoV-2 fertőzés.

Minden női donor HLA-antitest szűrésen esett át; pozitív eredmény esetén kizárás történt a TRALI kockázat minimalizálására.

Recipiens bevonás:

- igazolt SARS-CoV-2 fertőzés
- hospitalizáció

Recipiens kizárás

- korábbi pozitív transzfúziós anamnézis.

### **Vérplazma vétel**

Donoronként 400 ml plazmát vettünk, 2×200 ml zsákba osztva. A készítményeket 360 percen belül lefagyasztottuk, majd UVA-besugárzással és patogénredukcióval kezeltük (nukleinsav-

inaktiválás; reziduális leukociták inaktiválása) a fertőző ágensek és transzfúziós reakciók kockázatának csökkentésére.

### **3. Oltott egyének vizsgálata**

95 résztvevőt vontunk be írásos beleegyezéssel; egészséges felnőttek (18–65 év), krónikus betegségek nélkül (kiv.: hipertónia). Közülük 84 személy két dózis vakcinát kapott (vérvétel előtt 2–8 héttel). 11 személy enyhe/közepes, kórházi ellátást nem igénylő SARS-CoV-2 vírusinfekciót követően adott mintát (nem rendelkeztek oltással); minden ilyen egyén rendelkezett negatív PCR vizsgálattal. Etikai engedélyek: TUKEB és NNK (1943-6/2020/EÜIG; 38175-7/2021/EÜIG).

#### **Vénapunkció és mintakezelés**

Teljes vér centrifugálása: 1710×g, sebességgel, 10 percen keresztül, szobahőmérsékleten. A plazmát leválaszta a mintát –20 °C-on tároltuk a további feldolgozásig.

#### **Antitestek és neutralizáció (ELISA)**

Minden vizsgálat a gyártói protokollok szerint történt.

- Nukleokapszid IgG: recomWell SARS-CoV-2 IgG (7304, Mikrogen, Németország);
- Tüskefehérje IgG: Anti-SARS-CoV-2 QuantiVac ELISA IgG (EI 2606-9601-10G, Euroimmun);
- Neutralizáció: cPass™ SARS-CoV-2 Neutralization Antibody Kit (L00847-5, GenScript).

Leolvasás: LT-4000, LabTech, készülékkel történt.

#### **T-sejt válasz (IFN $\gamma$ )**

QuantiFERON SARS-CoV-2 teszttel végeztük a mérést. 1 ml teljes vér került QFN csövekbe, rázás után azonnal 37 °C-on egyéjszakás inkubáció történt; ezt követően megtörtént a centrifugálás: 2000×g sebességgel 15 percen keresztül. Ezt követően történt a plazma leválasztása, ennek a tárolása 4 °C-os hőmérsékleten történt az IFN $\gamma$  szint meghatározásig. A kiértékelés: QuantiFERON R&D Analysis RUO szoftverrel történt.

#### **4. Statisztikai analízis**

Normalitásvizsgálat: D'Agostino–Pearson teszt. Normáleloszlás teljesülése esetén egyutas ANOVA-t alkalmaztunk a csoportátlagok összehasonlítására; páronkénti összevetés: Tukey-féle post hoc teszttel történt. Szignifikancia:  $p < 0,05$ . Az adatok megjelenítése: átlag  $\pm$  SEM.

Korreláció: Pearson-féle korreláció (lineáris kapcsolat feltételezése). A kapott r együtthatókat értelmezve a 0,75 feletti és  $p < 0,05$  eredményeket tekintettük nagyon szorosnak; gyengébb korrelációkat nem minősítettünk szoros összefüggésnek.

Szoftver: GraphPad Prism 7 (statisztika és grafikus ábrázolás).

## **4.Eredmények**

### **1. Élsportolók**

A plazmaminták közvetlen vírusneutralizációs vizsgálata minden sportolónál 1:10 alatti semlegesítő titer értéket mutatott; erős vagy közepes neutralizáció nem volt jelen. Ez arra utal, hogy a fertőzés utáni 4–6. hétben az erősen neutralizáló ellenanyagok szintje alacsony volt.

### **IgG, IgM és IgA antitestek**

ELISA-val ugyanebben a csoportban a SARS-CoV-2-specifikus IgG szintet csak egy sportoló mintájában találtuk pozitívnak; ez összhangban állt a neutralizációs adatokkal. Az tüskefehérje és a nukleokapszid elleni IgG-szintek egymással korreláltak.

IgM-pozitivitás nem fordult elő.

A nyálkahártya-válasz jelzésére mért IgA a minták 31%-ában volt pozitív, ami tartós (4–6 héttel a fertőzés után is aktív) nyálkahártya immunválaszra utal.

### **Gyulladásos citokinek**

Az IL-2, IL-4, IL-5, IL-6, IL-17, és MIP-1 $\alpha$  minden mintában a kimutatási határ alatt volt – citokinvihar jele nem volt. Ugyanakkor több marker pozitívnak bizonyult, és jellegzetes korrelációs mintázat rajzolódott ki.

Két, egymással ellentétesen viselkedő csoport volt azonosítható: (1) a TNF csoport(MIP-1 $\beta$ , Eotaxin, RANTES, IP-10, IL-7, IL-9, MCP-1, IL-1 $\beta$ ), és (2) az IFN $\gamma$  csoport (IFN $\gamma$ , VEGF, IL-10, IL-15, G-CSF). A két csoport egymással fordított korrelációt mutatott; kivételként két birkózónál mindkét panel emelkedett.

### **2. Konvaleszcens plazmaterápia**

Összes recipiens: n=267 (COVID-osztály n=202; Intenzív osztály n=65). Medián életkor 67 év; átlagos kórházi tartózkodás 15 nap. A páciensek >90%-ának voltak társbetegségei, és a konvaleszcens vérplazma előtt a gyulladásos paramétereik emelkedettek voltak. A betegek 76%-a volt COVID-osztályon, 24% intenzív osztályon.

A két alcsoport összevetésekor szignifikáns összefüggéseket találtunk az életkor, nem, kórházi idő, mortalitás, WBC, ferritin és CRP tekintetében. Kiinduláskor a WBC, ferritin és CRP szint magasabb volt az intenzív osztályon lévő betegeknél. A plazmaterápiáig eltelt idő mediánja mindkét csoportban ~3 nap volt.

Nem észleltünk transfúzióval kapcsolatos nemkívánatos eseményt.

A CRP szint már 1 nappal a transfúzió után szignifikánsan csökkent ( $111,5 \pm 73,45 \rightarrow 86,2 \pm 65,5$  mg/l;  $P=0,0008$ ).

A felépült betegek szignifikánsan korábban kaptak plazmát, mint az elhunytak ( $p=0,0133$ ). A kórházi felvételtől számított  $\leq 3$  napon belüli plazmaadás 24%-os halálozással járt, míg azon betegeknél akik 3 napot követően kaptak vérplazmát 40% volt a halálozási ráta. ( $P=0,0226$ ).

### **Citokin szintek és gyulladási paraméterek változása**

21 páciens fagyasztott szérummintáin IL-1 $\beta$ , IL-6, IL-8 és TNF- $\alpha$  szinteket elemeztünk. Az IL-1 $\beta$ , IL-8 és TNF- $\alpha$  fiziológiás tartományban maradt, és nem volt szignifikáns különbség a túlélők és elhunytak között. Ezzel szemben az IL-6 a plazmaadás előtt már a normáltartomány felett volt, és szignifikánsan magasabbnak bizonyult az elhunytakban ( $102,5$  vs.  $28,9$  pg/ml;  $P=0,0066$ ).

A ferritin ( $p=0,0025$ ), a CRP és az IL-6 (mindkettő  $p<0,0001$ ) szintje szignifikánsan csökkent a plazmaterápiát követően.

### **3. Magyarországon elérhető SARS-CoV-2 oltások immunválaszai**

A nukleokapszid-ellenes IgG a betegségen átesett pácienseknél volt a legmagasabb; szignifikánsan magasabb, mint a BNT162b2, mRNA-1273, ChAdOx1 és Gam-COVID-Vac csoportokban, de nem különbözött szignifikánsan a BBIBP-CorV csoporttól ( $p=0,08$ ).

Határérték feletti nukleokapszid IgG a gyógyultak 90,1%-ában, a BBIBP-CorV csoport 56,3%-ában és a Gam-COVID-Vac csoport 4,5%-ában fordult elő; 24 U/ml feletti átlagos nukleokapszid IgG csak a BBIBP-CorV csoportban volt megfigyelhető.

A legmagasabb tüskefehérje elleni IgG titer és neutralizáció a BNT162b2 és mRNA-1273 csoportokban jelentkezett ( $p<0,001$  a gyógyultakhoz és a vektor/inaktivált csoportokhoz viszonyítva; több összevetésben  $p<0,001-0,008$ ).

A jelgátlás mértéke a BNT162b2 és mRNA-1273 csoportban szignifikánsan meghaladta a gyógyult kontrollokét, a ChAdOx1-ét és a BBIBP-CorV-ét.

T-sejt válasz: A résztvevők 28,42%-a nem reagált; ez nagyobb arányban fordult elő a gyógyult, a vektoros és inaktivált csoportokban, mint az mRNS-vakcináltaknál. Összességében az mRNS-vakcinák erősebb celluláris választ eredményeztek

Korrelációk: a tüskefehérje elleni -IgG és az Ag1/Ag2 IFN $\gamma$ -válasz között erős, szignifikáns korreláció volt ( $r_s \approx 0,54$  ill.  $0,49$ ;  $p < 0,0001$ ); nukleokapszid IgG esetén nem találtunk szignifikáns összefüggést. Csoportonként az mRNA-1273 esetén volt a legerősebb korreláció (Ag2:  $r_s = 0,83$ ;  $p = 0,015$ ), míg a ChAdOx1 csoportban a legalacsonyabb ( $r_s \approx 0,08$ ). Radar-diagramokkal összefoglalva: az mRNS-vakcinák robusztus IgG, neutralizációs és T-sejt választ indukáltak.

## **5. Következtetések**

A kutatás eredményei számos fontos következtetéshez vezettek a SARS-CoV-2 fertőzés, valamint annak az élsportolókra gyakorolt hatásainak elemzésével kapcsolatban. Az eredmények alapján a következő megállapításokat tehetjük:

1. **Élsportolók immunológiai válaszai:** Megfigyelhető volt, hogy az élsportolók SARS-CoV-2 vírusfertőzés után gyorsan felépültek, és immunrendszerük erős IgA választ mutatott, különösen a nyálkahártyán keresztüli védelem révén. Ez arra utal, hogy a sportolók specifikus immunrendszeri válasza hatékonyabb lehet a fertőzés leküzdésében, azonban ez nem mindig eredményez tartós humorális immunitást. Az IgG szintek alacsonyak maradtak, ami azt sugallja, hogy hosszú távú immunitásuk nem garantált, és az újrafertőződés veszélye fennáll.
2. **Citokin-vihar kockázata:** A citokinszintek elemzése azt mutatta, hogy az élsportolók körében a citokin-vihar kialakulásának esélye alacsonyabb lehet a civil populációhoz képest, ami a sportolók általánosan magasabb edzettségi állapotával függhet össze. Ugyanakkor a fertőzés utáni immunológiai állapotuk megváltozott, és a gyulladásos markerek, mint az IL-6 és a TNF-alfa, még hetekig emelkedettek maradtak, ami további figyelmet igényel a vírusinfekciót követő kockázatok vizsgálatakor.
3. **Vakcinák hatékonysága:** A különböző vakcinák összehasonlítása során kiderült, hogy az mRNS alapú vakcinák jelentősen erősebb immunválaszt váltottak ki, mint a vektor alapú vakcinák. Az adatok azt sugallják, hogy az mRNS vakcinák esetében erősebb T-sejt válasz és magasabb neutralizáló antitestszint volt mérhető, ami erősebb védelmet biztosít a fertőzéssel szemben. Ugyanakkor a vektor alapú és inaktivált vírust tartalmazó vakcinák is hatékonyak bizonyultak, de a fertőzés utáni immunválasz mérsékeltebb volt.
4. **A konvaleszcens plazmaterápia eredményessége:** eredményeink azt mutatják, hogy a vérplazma transfúzió biztonságos kiegészítő terápiás lehetőség, amely könnyen beépíthető a súlyos SARS-CoV-2 vírusinfekcióban szenvedő betegek komplex terápiás kezelésébe. A kezelés a gyulladásos markerek jelentős csökkenését eredményezte, mint például a CRP és az IL-6 szintjének csökkenését. A transfúzió korai időpontja egyértelműen előnyösebb. A

terápia különösen akkor bizonyult hatékonynak, ha a betegek a fertőzés korai szakaszában kapták meg a kezelést.

5. Hosszú távú következtetések: A kutatás során kiderült, hogy az élsportolók immunológiai állapota a fertőzés után hetekig megváltozott maradt, ami hosszú távú következményekkel járhat. A poszt-COVID szindróma kockázata és a fertőzés utáni teljesítményromlás kérdéses, bár a vizsgálatok szerint a sportolók teljesítménye nagyrészt nem romlott jelentősen.
6. Általános következtetések: Az élsportolók sajátos immunológiai válaszaik révén kiemelt figyelmet igényelnek mind a fertőzés megelőzése, mind pedig a poszt-COVID hatások kezelése során. Eredményeink hozzájárulnak ahhoz, hogy a jövőben hatékonyabb kezelési protokollok és megelőző intézkedések alakuljanak ki az élsportolók számára.

## 6.Saját publikációk jegyzéke

### **A doktori témában megjelent eredeti közlemények listája:**

- E. Fodor *et al.*, “Early Transfusion of Convalescent Plasma Improves the Clinical Outcome in Severe SARS-CoV2 Infection,” *Infect Dis Ther*, vol. 11, no. 1, pp. 293–304, Feb. 2022, doi: 10.1007/s40121-021-00514-7. [76]
- E. Fodor *et al.*, “Comparison of immune activation of the COVID vaccines: ChAdOx1, BNT162b2, mRNA-1273, BBIBP-CorV, and Gam-COVID-Vac from serological human samples in Hungary showed higher protection after mRNA-based immunization.” *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, vol. 26, no. 14, pp. 5297–5306, Jul. 2022, doi: 10.26355/eurrev\_202207\_29321.[66]
- M. Ambrus *et al.*, “Professional Athletes Maintain High TNF-Alpha or IFN-Gamma Related Inflammatory Status after Recovering from COVID-19 Infection without Developing a Neutralizing Antibody Response,” *Sports*, vol. 11, no. 5, p. 97, Apr. 2023, doi: 10.3390/sports11050097. [62]

## Egyéb publikációk

- 1. Quantification of levels of Factor H family proteins in COVID-19 convalescent plasma samples.**  
*European Journal of Immunology*, 54 (2), 111–111 (2024). WoS indexed.  
Uzonyi, Barbara; Matola, Alexandra T.; Gyetvai, Eszter; Tóth, Luca E.; Nacsa, János; Fodor, Eszter; Lacza, Zsombor; Pouw, Richard B.; Toonen, Erik J. M.; Józsi, Mihály.
- 2. Professional athletes maintain high TNF-alpha or IFN-gamma related inflammatory status after recovering from COVID-19 infection without developing a neutralizing antibody response.**  
*Sports*, 11 (5), Article 97, 10 p. (2023).  
Ambrus, Mira; Fodor, Eszter\*; Berki, Tímea; Müller, Veronika; Uhlár, Ádám; Hornyák, István; Lacza, Zsombor.
- 3. Clinical effects and cytokine changes after intraarticular hyperacute serum injection in the knee.**  
*Medicine and Science in Sports and Exercise*, 55 (9), 953–953 (2023). WoS indexed.  
[Fodor E, Lacza Z.].
- 4. Image-based and machine-learning-guided multiplexed serology test for SARS-CoV-2.**  
*Cell Reports Methods*, 3 (8), Article 100565, 19 p. (2023).  
Pietiäinen, Vilja; Polso, Minttu\*; Migh, Ede\*; Guckelsberger, Christian\*; Harmati, Mária; Diósdí, Ákos; Turunen, Laura; Hassinen, Antti; Potdar, Swapnil; Koponen, Annika et al.
- 5. Albumin as a biomaterial and therapeutic agent in regenerative medicine.**  
*International Journal of Molecular Sciences*, 23 (18), Article 10557, 21 p. (2022).  
Kuten-Pella, Olga; Hornyák, István; Horváthy, Dénes; Fodor, Eszter; Nehrer, Stefan; Lacza, Zsombor.

6. **A pilot clinical study of hyperacute serum treatment in osteoarthritic knee joint: Cytokine changes and clinical effects.**  
*Curr. Issues Mol. Biol.* 2021, 43(2), 637-649; <https://doi.org/10.3390/cimb43020046>.  
Olmos Calvo, Isabel; Fodor, Eszter; Kardos, Dorottya; Hornyák, István; Hinsenkamp, Adél; Kuten-Pella, Olga; Gyevnár, Zsuzsanna; Erdélyi, Gábor; Bárdos, Tamás; Paukovits, Tamás Mirkó et al.
7. **Comparison of virus neutralization activity and results of ten different anti-SARS-CoV-2 serological tests in COVID-19 recovered plasma donors.** *Pract Lab Med.* 2021 Apr 20;25:e00222. doi: 10.1016/j.plabm.2021.e00222  
Szabó, Zsófia; Szabó, Tamás; Bodó, Kornélia; Kemenesi, Gábor; Földes, Fanni; Kristóf, Katalin; Barabás, Eszter; Vásárhelyi, Barna; Prohászka, Zoltán; Fodor, Eszter et al.
8. **Kinect Azure–based accurate measurement of dynamic valgus position of the knee: A corrigible predisposing factor of osteoarthritis.**  
[Manuscript].  
Uhlár, Ádám; Ambrus, Mira; Kékesi, Márton; Fodor, Eszter; Grand, László; Szathmáry, Gergely; Rácz, Kristóf; Lacza, Zsombor.