



A szív mágneses rezonanciás vizsgálatának szerepe lezajlott COVID-19-fertőzést követően

Szabó Liliána¹, Juhász Vencel¹, Dohy Zsófia¹, Hirschberg Kristóf¹,
Czibalmos Csilla¹, Tóth Attila¹, Suhai Ferenc Imre¹, Merkely Béla^{1,2}, Vágó Hajnalka^{1,2}

¹Semmelweis Egyetem, Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinika, Budapest

²Semmelweis Egyetem, Sportorvostan Tanszék, Budapest

Levelezési cím:

Dr. Szabó Liliána, E-mail: sz.liliana.e@gmail.com

Habár elsősorban a „súlyos akut légúti tünetegyüttest okozó koronavírus-2” (SARS-CoV-2) okozta fertőzés tüdőmanifesztációi ismertek, mindinkább kiemelt figyelmet kapnak a betegség kardiovaszkuláris szövődményei is. A szív mágneses rezonanciás (MR) vizsgálata a kamrai volumenek, morfológia és funkció megítélésére alkalmas módszer, amely speciális szekvenciák révén alkalmas a szöveti ödéma, illetve nekrozis/fibrózis kimutatására. Az újabb T₂- és T₁-mapping technikáknak köszönhetően pedig a szívizmot diffúzan érintő eltérések is vizsgálhatóak. A COVID-19 betegség szív érintettségének megítélésében a szív-MR mind nagyobb tudományos figyelmet kap. Ennek oka, hogy mint szöveti karakterizálásra alkalmas noninvazív képalkotó modalitás, potenciális szerepe van a betegség esetleges szövődményeinek kimutatásában, továbbá troponin-pozitivitás esetén a miokardiális sérülés differenciáldiagnosztikájában. Összefoglaló közleményünkben a szív-MR-vizsgálat szerepét tárgyaljuk a SARS-CoV-2-fertőzést követően.

Kulcsszavak: szív-MR, COVID-19, myocarditis

The role of cardiac magnetic resonance imaging after COVID-19 infection

Although the primarily known manifestations of the infection caused by “coronavirus-2 causing severe acute respiratory syndrome” (SARS-CoV-2) are pulmonary, the cardiovascular complications of the disease are also gaining widespread attention. Cardiac magnetic resonance (CMR) imaging is a method for assessing ventricular volumes, morphology and function, which is suitable for detecting tissue specific information including myocardial oedema and necrosis/fibrosis through special sequences. Parametric T₂ and T₁ mapping enable the identification of diffuse myocardial pathologies. As a non-invasive imaging modality suitable for tissue characterization, CMR is receiving scientific attention in the assessment of cardiac involvement of COVID-19 disease. This is because it has a potential role in the detection of possible complications of the disease and in the differential diagnosis of myocardial injury in the case of troponin positivity. In our communication, we discuss the role of cardiac MR examination after SARS-CoV-2 infection.

Keywords: cardiac magnetic resonance imaging, COVID-19, myocarditis

Bevezetés

A koronavírusok családjába tartozó „súlyos akut légúti tünetegyüttest okozó koronavírus-2” (SARS-CoV-2) okozta infekció, a „koronavírus-betegség 2019” (COVID-19) jelenleg is zajló pandémia, amely ezidáig közel 100 millió főt fertőzött meg világszerte. A betegség klinikai megjelenését általában a légzőszervi megbetegedés dominálja, a tünetek spektruma az enyhe megfázásszerű tünetektől egészen a súlyos vírusos tüdőgyulladásig és akut légúti distressz-szindrómáig terjednek. Habár elsősorban a betegség tüdőmanifesztációi ismertek, mindinkább kiemelt figyelmet kapnak a betegség kardiovaszkuláris szövődményei is. A kardiovaszkuláris betegségben szenvedők körében a COVID-19 mortalitása magasabb, és a szövődmények aránya is meghaladja a normál populációt (1). A SARS-CoV-2 az angiotenzin-konvertáló enzim 2-t (ACE-2) használja fel receptoraként a sejtbe való bejutáshoz. Az echokardiográfiának kiemelt szerepe van a SARS-CoV-2 súlyosabb lefolyást mutató kardiovaszkuláris megbetegedésben szenvedők körében is, amellyel részletesen foglalkozik a Magyar Kardiológusok Társasága – Kardiovaszkurális Képző Munkacsoportja által megfogalmazott állásfoglalás (2). A szív mágneses rezonancia (MR) vizsgálata a kamrai volumenek, morfológia és funkció megítélésére alkalmas módszer, amely speciális szekvenciák révén alkalmas a szöveti ödéma, illetve nekrozis/fibrózis kimutatására is (3). A klinikai rutinban alkalmazott T_2 -súlyozott felvételek alkalmasak a regionális ödéma kimutatására, míg az újabb T_2 -mapping-technika segítségével a szívizmot diffúzan érintő gyulladás kvantitatív meghatározása is lehetséges. A T_1 -mapping-érték (különböző mértékű) emelkedését több tényező is előidézhetheti, így például diffúz fibrosis, akut/szubakut gyulladás, iszkémia is (4). A mapping-értékekkel kapcsolatban azonban érdemes kiemelni, hogy minden szív-MR-centrum számára helyi normálértékek felállítását javasolják (5). A gadolinium-alapú kontrasztanyag alkalmazásával készült késői kontrasztanyag-halmozásos felvételek alapján elkülöníthető az iszkémiás és noniszkémiás etiológiájú miokardiális károsodás. Miokardiális infarktusz esetén jellegzetes szubendokardiálisól transzmurálisig terjedő, a falvastagság különböző mértékű érintettségével járó késői halmozást látunk. Myocarditis lokalizált formájában tipikus a szubepikardiális és midmiokardiális foltos késői kontraszthalmozás, míg diffúz érintettség esetén a hagyományos késői kontrasztanyag-halmozásos technika általában nem diagnosztikus. Diffúz érintettség esetén a hagyományos T_2 -súlyozott felvételek értékelése is nehezített. A COVID-19 szívérintettségének megítélésében a szív-MR mind nagyobb tudományos figyelmet kap, hiszen mint szöveti karakterizálásra alkalmas non-invazív képző modális, potenciális szerepe van a betegség esetleges szövődményeinek kimutatásában, a miokardiális sérülés differenciáldiagnosztikájában.

Összefoglaló közleményünkben a szív-MR-vizsgálat szerepét tárgyaljuk a SARS-CoV-2-fertőzést követően.

Miokardiális sérülés patomechanizmusa és differenciáldiagnosztikája COVID-19-fertőzés esetén

A COVID-19 okozta miokardiális sérülést is a troponin-szint referenciaértékének 99-es percentilisének meghaladó értékkel definiálják, amely szintén csak a klinikai állapot figyelembevételével (pl. krónikus veseelégtelenség) értékelhető pontosan (6, 7). Négy direkt mechanizmus szerepe feltételezett a miokardiális sérülés hátterében:

1. virális ACE-2-mediált sejtsérülés,
2. hypoxia okozta miokardiális sérülés,
3. mikrovaszkuláris sérülés, amely perfúziós defektus, ér hiperpermeabilitás vagy angiospasmus következtében alakul ki és
4. szisztémás gyulladásos reakció, beleértve a citokin-vihart, valamint kontrollálatlan gyulladást (8).

A SARS-CoV-2-infekció miatt hospitalizált betegek körében nagy arányban fordul elő emelkedett troponinszint és ennek hátterében feltételezett miokardiális sérülés. Azonban a pontos etiológia: úgymint akut koronáriszindróma, myocarditis vagy pulmonalis embólia az esetek egy részében nem egyértelműen tisztázott (6). Ezen eltérések differenciálásában kiemelt szerepe van a képző vizsgálatoknak, többek között a szív-MR-vizsgálatnak. *Knight és munkatársai* 29 COVID-19 betegség miatt hospitalizált, troponin-pozitív páciens esetében szív-MR segítségével vizsgálták a miokardiális sérülés etiológiáját. A döntően férfiakból álló (n=24), átlagosan 64 éves betegcsoportban, összesen 13 betegnél találtak myocarditisre utaló késői kontrasztanyag-halmozást, valamint további két esetben nem specifikus midmiokardiális kontraszthalmozást. Kilenc esetben iszkémiás okokat találtak az emelkedett troponinérték hátterében. Négy beteg esetében átfedésben voltak jelen noniszkémiás és iszkémiás eltérések (9). *Huang és munkatársai* 26, kardiális panaszokkal rendelkező COVID-19-fertőzésből felépülő betegnél azt találta, hogy a konvencionális szív-MR-eltérésekkel rendelkező betegeknek (n=15) magasabb T_1 -mapping-értékei vannak a konvencionális MR-eltéréssel nem rendelkező betegekkel és egészséges kontrollcsoporttal összehasonlítva, míg az utóbbi két csoport között nem volt különbség (10).

Az irodalomban közölt legnagyobb esetszámú kutatás a *Puntmann és munkatársai által* elvégzett vizsgálat, amelyben 100, koronavírus-betegségről (COVID-19) nemrég felépült, kardiális panasszal nem rendelkező beteget vizsgáltak. A vizsgálatban a demográfiai jellemzőségeket, vérből meghatározott laboratóriumi markereket és szív-MR-vizsgálat eredményeit vizsgálták. Eredményeik alapján, a medián 71 nappal a COVID-19

diagnózis felállítását követően elvégzett szív-MR-vizsgálat a betegek mintegy 78%-ában talált eltérést, zajló myocarditisre utaló eltéréseket 60 betegnél. A T_1 -mapping kiváló diszkriminatív értéket mutatott a COVID-19-betegek és rizikófaktorok alapján egyeztetett kontrollcsoport között (11). A vizsgálat hatalmas médiaérdeklődést kapott, azonban eredményeinek interpretációját azóta többen is megkérdőjelezték, illetve a cikkben szereplő adatok kiigazítása is szükségessé vált (12, 13).

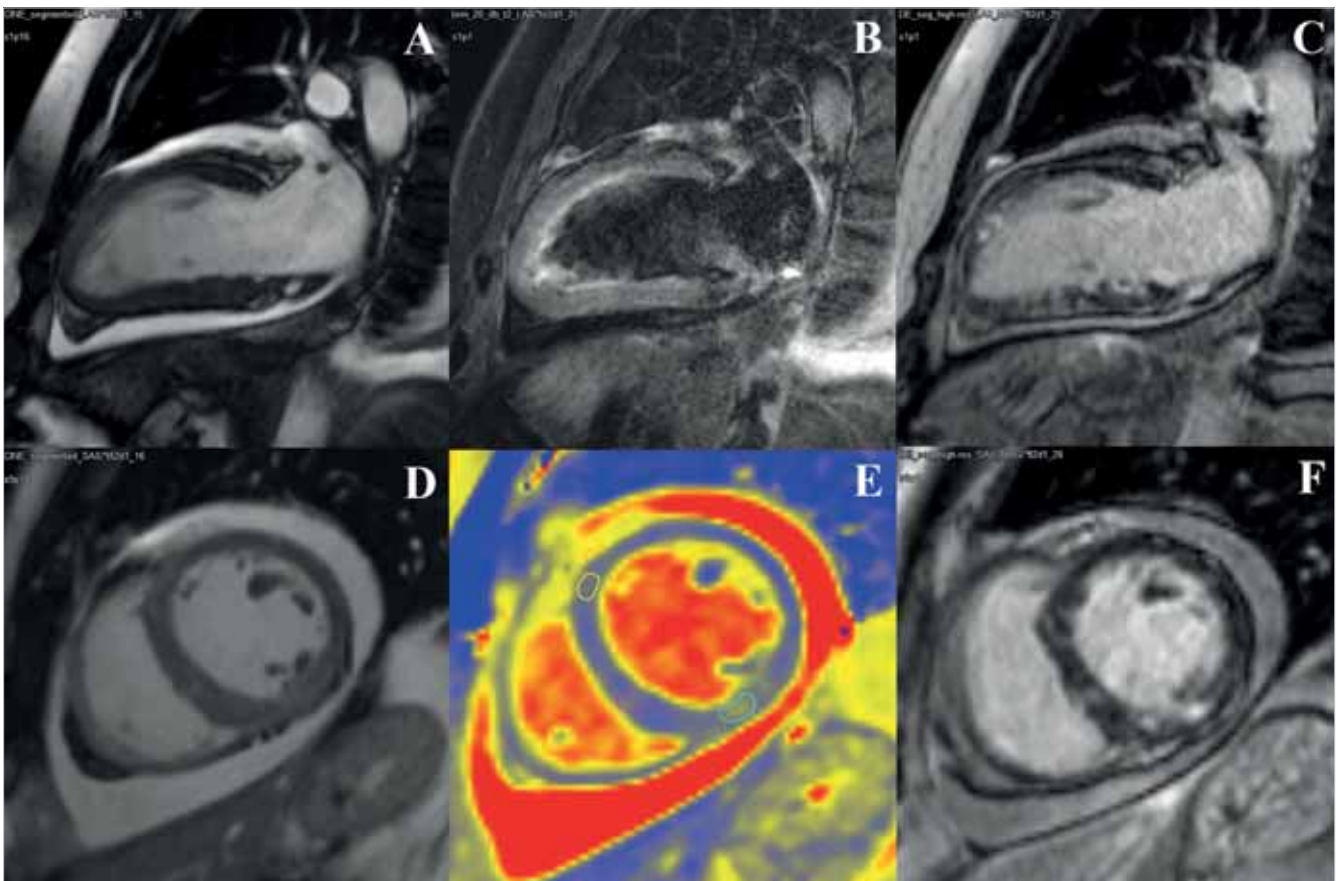
COVID-19-myocarditis

A SARS-CoV-2-infekció által okozott myocarditis prevalenciájáról, pontos patomechanizmusáról jelenleg igen keveset tudunk. Ismert azonban, hogy mind a Middle East respiratory syndrome (MERS) koronavírus és a SARS-CoV-2 kimutatható volt a betegség állatmodelljének szívizomszövetéből, amely a vírusok kardiotropizmusára utal (14, 15). Számos esettanulmány is rendelkezésünkre áll, amely koronavírus-infekciót követően fellépő akut myocarditis tényét és lefolyását taglalja (16). Ezek az akut miokardiális infarktus jeleivel járó kissé enyhébb formától a súlyos, fulmináns formáig terjednek (17, 18) (1. ábra).

Fontos azonban, hogy patológiai vizsgálatok az esetek 1-7%-ában találtak akut myocarditist SARS-CoV-2-infekciót követő kórboncolás során (19). A közlemény szerzői azt a következtetést vonták le, hogy míg a COVID-19-fertőzésben a szívérintettség gyakorisága igen magas (47,8%), ennek kis része myocarditis.

Szubklinikus eltérések és lehetséges szerepük

Az elmúlt néhány hónapban több közlemény is megjelent, amelyek különböző szubklinikus eltérések nagyarányú megjelenését találták COVID-19-fertőzést követően, többek között a már említett német kutatást (11). *Mind-Yen és munkatársai* 16, lezajlott COVID-19-fertőzést követően vizsgált beteg szív-MR képeit értékelték. A betegek 88%-ánál EKG-eltérés, 44%-ánál emelkedett torponinszint volt jelen a kórházi felvétel során, a levél azonban nem részletezi ezen eltérések pontos természetét. Három esetben találtak nonisztkémiás mintázatú késői kontraszthalmozást és globálisan emelkedett T_2 -mapping-értékeket. Egy betegnél korábbi anamnézisében szereplő laterális miokardiális infarktusnak megfelelő késői kontrasztanyag-halmozás ábrázolódott a



1. ÁBRA. Akut myocarditis szív-MR képe egy COVID-19-fertőzést követően vizsgált beteg esetében. A hossz- és rövidtengelyi síkokban készült cine movie (A, D) felvételen látható a körkörös perikardiális fluidum. A T_2 -súlyozott felvételen (B) és T_2 -mapping-képen (E) látható a foltos szöveti ödéma valamint a késői kontraszthalmozásos felvételeken (C, F) a foltos midmiokardiális nekrosis

szív-MR-felvételeken, illetve további hat esetben találtak izolált T_1 - és/vagy T_2 -mapping-emelkedést (20).

Sportolók

Sportolók körében végzett vizsgálatok eredményei is a kórkép kardiális manifesztációi körüli bizonytalanságra hívták fel a figyelmet. *Rajpal és munkatársai* 26, troponin-negatív egyetemi sportolóból az esetek 15%-ában értékelték akut myocarditisként a látott eltéréseket, két esetben enyhe tünetes, 2 esetben tünetmentes sportolónál (21). A szív-MR-képek kiértékeléséről, interpretációjáról kevés adat áll rendelkezésünkre, illetve a vizsgálatban nem történt összehasonlítás kontrollcsoporttal sem. *Brito és munkatársai* 48 fiatal egyetemi szinten sportolót vizsgáltak szív-MR segítségével, elváltozást összesen 27 betegnél írtak le, ebből 19 esetben perikardiális halmozást és fluidumot. Érdekes azonban, hogy ez a munkacsoport miokardiális ödémára utaló T_2 -mapping-emelkedést egyetlen sportolónál sem talált (22). A témában legfrissebb publikáció 145 főiskolai sportoló körében vizsgálta a SARS-CoV-2-infekció által okozott myocarditis prevalenciáját. Vizsgálatukban két esetben (1,4%) találtak akut myocarditisnek megfelelő szív-MR-képet (23).

Figyelembe véve ezeket az ellentmondó eredményeket nem meglepő, hogy mind a „Journal of the American Medical Association”, mind a „Journal of the American College of Cardiology” lapjaiban megjelent sportolói szűrésre vonatkozó ajánlás is kiemelte, hogy nagy esetszámú, sportolói kontrollcsoporttal is kiegészített vizsgálatokra van szükség az eltérések és jelentőségük pontos megítéléséhez. A szerzők felhívták a figyelmet a tervezett vizsgálatok során a klinikai adatoktól független felvételiértékelés jelentőségére és arra, hogy a vizsgálatot végző klinikák sportolói vizsgálatokban szerzett gyakorlata kiemelt fontosságú (24, 25).

Mellékletek szív-MR-vizsgálat során

A szív-MR-vizsgálat során az esetek egy részében SARS-CoV-2-infekció tüdőérintettségének gyanúja is felmerülhet a mellkas egy részét vagy egészét lefedő axiális mozgó, vagy T_2 -súlyozott szekvenciákon. Amennyiben a tüdő érintettségének gyanúja felmerül a szív-MR-vizsgálat során, mellkasi képalkotás (mellkas-CT-vizsgálat) javasolt a kiterjedés, illetve súlyosság megítélésére.

Nemzetközi állásfoglalás hospitalizált betegek esetén

Az Európai Szív Képző Társaság (EACVI) összefoglalója a COVID-19-fertőzés miatt hospitalizált betegek

esetében szükséges képalkotó eljárások szerepét tárgyalja (6). A szív-MR-vizsgálat alkalmas a miokardiális infarktus, myocarditis, illetve stressz-cardiomyopathia elkülönítésére, a vizsgálat elvégzése klinikailag indokolt esetben elvégezhető. Ilyen esetben a klinikai kérdés megválaszolására fókuszált, rövidített protokoll elvégzését javasolják. Amennyiben a szív-MR-vizsgálat nem szükséges a közvetlen klinikai döntéshozatalhoz, a vizsgálat elvégzése a karanténperiódus után javasolt (6).

Nemzetközi állásfoglalás sportolók esetén

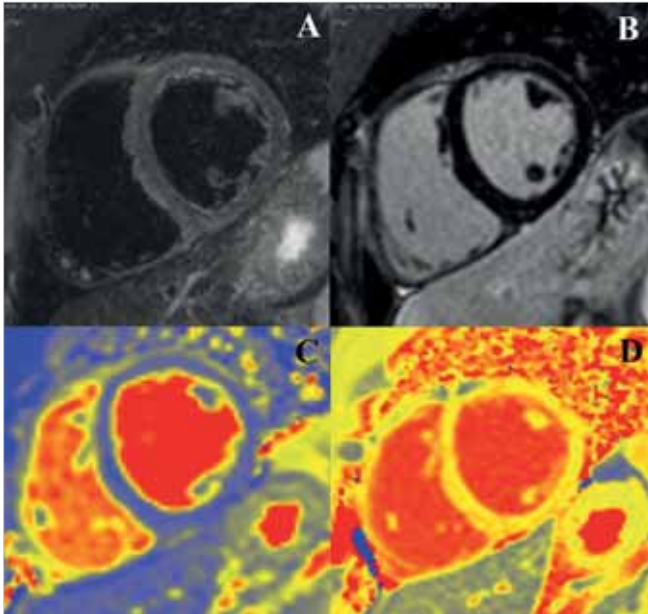
A sportolók szívizomsérülésének megítélésével kapcsolatban *Kim és munkatársai* kiemelik, hogy 24-48 órával az utolsó edzést követően lehet a troponinértékeket megfelelő módon értékelni. Izolált troponin-emelkedés esetén egy újabb, hasonló hosszúságú pihenési periódust követően kell megismételni a vizsgálatot (25). A tartósan emelkedett troponinszint háttérben álló eltérés szöveti karakterizálása céljából szív-MR végezhető. A szerzők óva intenek a szív-MR-vizsgálat szűrőjellegű használatától, hiszen annak alkalmazása tudományosan nem alátámasztott (24, 25).

Első hazai tapasztalatok

Az élsportolók körében a COVID-19 betegség által okozott MR-eltérések megértése céljából prospektív vizsgálat részeként szív-MR-rel készült alvizsgálatot is végzünk, amelynek célja a COVID-19-fertőzésen átesett sportolók esetén a kardiovaszkuláris változások pontosabb megismerése, prognosztikus szerepük meghatározása különböző noninvazív, a rutin-betegellátásban is használatos modalitások segítségével. Munkacsoportunk kezdeti eredményei alapján 12, közelmúltban COVID-19-fertőzésen átesett élsportoló esetén az elvégzett noninvazív vizsgálatok kóros kardiális eltérést nem igazoltak (26). Női sportolóink szív-MR-paramétereit korban illesztett egészséges élsportolókkal és kontrollokkal vetettük össze, amely a sportolói csoportokban sportadaptáció szív-MR jeleit igazolta a kontrollcsoporthoz képest. A sportolói csoportok között eltérést egy paraméter tekintetében sem találtunk (2. ábra).

Következtetés

A COVID-19 miatt hospitalizált betegek esetében igen nagyarányú a feltételezett miokardiális érintettség. Troponin-pozitivitás esetén az etiológia elkülönítésében kiemelt szerepe van a szöveti információt is nyújtó szív-MR-vizsgálatnak. Önmagában az emelkedett T_1 , T_2 -mapping-értékek, illetve az aspecifikus, akut eltérésre utaló ödémát nem mutató késői kontraszthalmozás kórjelző értéke nem kellően tisztázott. Ezen eltérések



2. ÁBRA. Lezajlott COVID-19-fertőzést követően végzett szív-MR-vizsgálat egy férfi labdarúgó élsportoló esetében. A szív-MR-vizsgálat nem mutatott strukturális eltérést

pontos megértése és klinikai jelentőségük értékelése céljából nagy esetszámú, utánkövetéses adatokra van szükség.

Támogatás

Jelen összefoglaló közlemény az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-3-II-SE-61 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. A kutatást az Innovációs és Technológiai Minisztérium Tématerületi Kiválósági Programja (2020-4.1.1.-TKP2020) finanszírozta, a Semmelweis Egyetem tématerületi programja keretében. A publikációban szereplő kutatást, amelyet a Semmelweis Egyetem valósított meg, az Innovációs és Technológiai Minisztérium és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatta a Mesterséges Intelligencia Nemzeti Laboratórium keretében.

Irodalom

- Madjid M, Safavi-Naeini P, Solomon SD, Vardeny O. Potential Effects of Coronaviruses on the Cardiovascular System: A Review. *JAMA Cardiol* 2020; 5(7): 831–840. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.1286>
- Ágoston G, Kovács A, Apor A, et al. A transthoracalis és transoesophagealis echokardiográfiás vizsgálat indikációi, protokollja, valamint a betegek és az ellátószemélyzet védelme – a COVID-19-pandémiára fókuszálva. *Cardiol Hungarica* 2020; 50(2): 88–92. <https://doi.org/10.26430/chungarica.2020.50.2.88>
- Ripley DP, Musa TA, Dobson LE, Plein S, Greenwood JP. Cardiovascular magnetic resonance imaging: What the general cardiologist should know. *Heart* 2016; 102(19): 1589–1603. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2015-307896>
- Messroghli DR, Moon JC, Ferreira VM, et al. Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance mapping of T1, T2, T2 and extracellular volume: A consensus statement by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) endorsed by the European Association for Cardiovascular Imaging. *J Cardiovasc Magn Reson* 2017; 19(1): 1–24. <https://doi.org/10.1186/s12968-017-0389-8>
- Hirschberg K, Dohy Z, Tóth A, et al. A mappingtechnikák által nyújtott lehetőségek a szív-MR-vizsgálatok során: indikációk, diagnosztikus érték, limitációk és centrumunk kezdeti tapasztalatai. *Cardiol Hungarica* 2020; 50(1): 45–53. <https://doi.org/10.26430/chungarica.2020.50.1.45>

- Cosyns B, Lochy S, Luchian ML, et al. The role of cardiovascular imaging for myocardial injury in hospitalized COVID-19 patients. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2020; 21(7): 709–714. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa136>
- Chapman AR, Bularga A, Mills NL. High-Sensitivity Cardiac Troponin Can Be an Ally in the Fight against COVID-19. *Circulation* 2020; 141(22): 1733–1735. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.120.047008
- Zheng YY, Ma YT, Zhang JY, Xie X. COVID-19 and the cardiovascular system. *Nat Rev Cardiol* 2020; 17(5): 259–260. <https://doi.org/10.1038/s41569-020-0360-5>
- Knight DS, Kotecha T, Razvi Y, et al. COVID-19: Myocardial injury in survivors. *Circulation*. 2020: 1120–1122. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.120.049252>
- Huang L, Zhao P, Tang D, et al. Cardiac involvement in recovered COVID-19 patients identified by magnetic resonance imaging. *JACC Cardiovasc Imaging* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.05.004>
- Puntmann VO, Carerj ML, Wieters I, et al. Outcomes of Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging in Patients Recently Recovered From Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *JAMA Cardiol* 2020; 2019: 1–9. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.3557>
- Laura Filippetti, MD; Nathalie Pace, MD; Pierre-Yves Marie, MD P. Cardiac Involvement After Recovering From COVID-19. *JAMA Cardiol* 2020. doi: 2020. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.5279>
- Eike Nagel, MD; Valentina O. Puntmann, MD P. Errors in Statistical Numbers and Data in Study of Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging in Patients Recently Recovered From COVID-19. *JAMA Cardiol* 2020. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.4661>
- Agrawal AS, Garron T, Tao X, et al. Generation of a Transgenic Mouse Model of Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus Infection and Disease. *J Virol* 2015; 89(7): 3659–3670. <https://doi.org/10.1128/jvi.03427-14>
- Schaecher SR, Stabenow J, Oberle C, et al. An immunosuppressed Syrian golden hamster model for SARS-CoV infection. *Virology* 2008; 380(2): 312–321. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2008.07.026>
- Ojha V, Verma M, Pandey NN, et al. Cardiac Magnetic Resonance Imaging in Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): A Systematic Review of Cardiac Magnetic Resonance Imaging Findings in 199 Patients. *J Thorac Imaging* 2020; 00(00): 1–11. <https://doi.org/10.1097/RTI.0000000000000574>
- Sassone B, Muser D, Bruno A, et al. Concealed SARS-CoV-2 interstitial pneumonia unmasked by infarct-like acute myocarditis. *Eur Heart J – Case Reports* 2020; 4(F11): 1–2. doi: 10.1093/ehjcr/yttaa158
- Doyen D, Mocerri P, Ducreux D, Dellamonica J. Myocarditis in a patient with COVID-19: a cause of raised troponin and ECG changes. *Lancet* 2020; 395(10235): 1516. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30912-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30912-0)
- Halushka MK, Vander Heide RS. Myocarditis is rare in COVID-19 autopsies: cardiovascular findings across 277 postmortem examinations. *Cardiovasc Pathol* 2021; 50: 107300. <https://doi.org/10.1016/j.carpath.2020.107300>
- Ng MY, Ferreira VM, Leung ST, et al. Patients Recovered From COVID-19 Show Ongoing Subclinical Myocarditis as Revealed by Cardiac Magnetic Resonance Imaging. *JACC Cardiovasc Imaging* 2020; 13(11): 2476–2478. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.08.012>
- Rajpal S, Tong MS, Borchers J, et al. Cardiovascular Magnetic Resonance Findings in Competitive Athletes Recovering from COVID-19 Infection. *JAMA Cardiol* 2020; 10–12. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.4916>
- Brito D, Meester S, Yanamala N, et al. High Prevalence of Pericardial Involvement in College Student Athletes Recovering From COVID-19. *JACC Cardiovasc Imaging* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.10.023>
- Starekova J, Bluemke DA, Bradham WS, et al. Evaluation for Myocarditis in Competitive Student Athletes Recovering From Coronavirus Disease 2019 With Cardiac Magnetic Resonance Imaging. *JAMA Cardiol* 2021; 1–6. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.7444>
- Phelan D, Kim JH, Elliott MD, et al. Screening of Potential Cardiac Involvement in Competitive Athletes Recovering From COVID-19: An Expert Consensus Statement. *JACC Cardiovasc Imaging* 2020; 13(12): 2635–2652. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.10.005>
- Kim JH, Levine BD, Phelan D, et al. Coronavirus Disease 2019 and the Athletic Heart: Emerging Perspectives on Pathology, Risks, and Return to Play. *JAMA Cardiol* 2020; 1–9. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.5890>
- Vago H, Szabo L, Dohy Z, Merkely B. Cardiac magnetic resonance findings in patients recovered from COVID-19: initial experiences in elite athletes. *JACC Cardiovasc Imaging* 2020; (3):2–3. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2020.11.014>