

A szív mágneses rezonancia vizsgálat szerepe a bal kamra hypertrophiát okozó cardiomyopathiák diagnosztikájában és a prognózis megítélésében

Doktori Tézisek

Dr. Dohy Zsófia

Elméleti és Transzlációs Orvostudományok Doktori Iskola
Semmelweis Egyetem



Témavezető:

Dr. Vágó Hajnalka Ph.D., egyetemi tanár

Hivatalos bírálók:

Dr. Pálinkás Attila Ph.D., egyetemi tanár

Dr. Révész Katalin Ph.D., egyetemi tanársegéd

Komplex vizsga elnöke:

Dr. Karádi István D.Sc., egyetemi tanár

Komplex vizsga bizottság tagjai:

Dr. Jánoskúti Livia Ph.D., egyetemi docens

Dr. Borbola József Ph.D. egyetemi tanár

Budapest

2023

BEVEZETÉS

Kóros bal kamra hypertrophia (BKH) hátterében számos tényező állhat, okozhatja nyomásterhelés, különböző infiltratív betegségek, illetve a szívizom elsődleges strukturális rendellenessége. Ezen kórképek kezelése és klinikai lefolyása eltérő, ezért a pontos diagnózis felállításának kiemelt szerepe van. A szív mágneses rezonanciás (MR) vizsgálat a szív morfológiájának, funkciójának és a szívizom szöveti jellemzésének noninvaszív referenciamódszere, a dinamikus fejlődésnek köszönhetően egyre pontosabb diagnózisalkotást tesz lehetővé.

CÉLKITŰZÉSEK

1. A bal és jobb kamrai paraméterek meghatározásához használt szív MR kiértékelési módszerek vizsgálata

Vizsgáltuk a trabekulák és papilláris izmok (TPM) kvantifikálásának hatását a bal és jobb kamrai paraméterekre, illetve a különböző módszerek reprodukálhatóságát. Hagyományos kiértékeléssel a TPM a kamrai üreg, míg threshold-based (TB) módszerrel a szívizom része.

2. A szív MR vizsgálat szerepe a BKH-t okozó szívizombetegségek differenciáldiagnosztikájában

Célunk volt a hagyományos szív MR paraméterek, késői kontraszthalmozás mellett a strain paraméterek differenciáldiagnosztikai szerepének vizsgálata HCM, cardialis

amyloidosis (CA), Fabry-kór (FD) és endomiokardiális fibrózis (EMF) elkülönítésében.

3. A BKH és miokardiális fibrózis elektrokardiográfiás (EKG) jeleinek meghatározása hypertrophiás cardiomyopathiában (HCM)

Célunk volt a bal kamrai izomtömeg (LVM) és miokardiális fibrózis hatásának vizsgálata az EKG hypertrophia kritériumokra, illetve vizsgáltuk fibrózist jelző EKG jeleket.

4. Szív MR paraméterek prognosztikus szerepének vizsgálata HCM-ben

Vizsgáltuk a hagyományos szív MR paraméterek, strain analízis és miokardiális fibrózist jelző késői kontraszthalmozás prognosztikus szerepét HCM-es betegekben.

MÓDSZEREK

I. Vizsgálati csoportok

1. Hagományos és TB módszer a bal és jobb kamrai paraméterek meghatározásában

Egészséges önkénteseknél, összesen 30 férfinél és 30 nőnél szív MR vizsgálatot végeztünk. A bal és jobb kamrai paramétereket három független, különböző tapasztalati szinttel rendelkező vizsgáló határozta meg hagyományos és TB módszerrel.

2. BKH-t okozó szívizombetegségek differenciáldiagnosztikája

A Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinikán 2009 és 2019 között szív MR vizsgálat során BKH-t okozó szívizombetegséggel diagnosztizált betegeket vontunk be a kutatásunkba (n=430). Azokat a betegeket, akiknél kezeletlen magas vérnyomás, szignifikáns aortastenosis, vagy fiziológiás sportadaptáció állt a BKH hátterében nem vontuk be a vizsgálatba. Kizártuk a korábban vesetranszplantáción átesett betegeket (n=2), akiknél nem volt megfelelően kivitelezhető a strain analízis (n=9), illetve akiknél bizonytalan volt a szív MR diagnózis (n=15).

3. HCM EKG és szív MR jellegzetességei

Száznegyvenhat HCM-es betegnél készült szív MR vizsgálat és 12-elvezetésű EKG. Kizártuk azokat a betegeket, akik nem kaptak kontrasztanyagot, korábban septalis rezekción estek át, vagy folyamatos pacemaker ingerléssel élnek. Kontrollcsoportba 35 egészséges önkéntest vontunk be.

4. Szív MR paraméterek prognosztikus szerepe HCM-ben

A HCM-es betegek prognózisát vizsgáló kutatásunkba 187 beteget vontunk be. A klinikai utánkövetés során kombinált végpontként határoztuk meg az összes halálozást, szívtranszplantációt, abortált hirtelen szívhalált és adekvát implantálható cardioverter defibrillátor (ICD) terápiát. Aritmia

végpontként vizsgáltuk az abortált hirtelen szívhalt és adekvát ICD terápiát.

II. Szív MR vizsgálati protokoll

A szív MR vizsgálatokat 1,5 T térerősségű MR berendezéseken végeztük (Siemens Magnetom Aera, Philips Achieva). Standard hossz- és rövidtengelyi síkokban mozgóképeket készítettünk. Kontrasztanyag (0,15 mmol/testsúly kg gadolinium alapú kontrasztanyag) bólus intravénás adását követően 10-20 perccel késői típusú kontraszthalmozásos (LGE) felvételeket készítettünk. Az egészséges kontrollcsoportnak nem adtunk kontrasztanyagot.

III. A szív MR felvételek kiértékelése

A felvételek kiértékelését Medis QMass 7.6 vagy Medis Suite 3.1 szoftveren végeztük (Medis Medical Imaging Software, Leiden, Hollandia). Hagyományos kiértékelés során a rövidtengelyi mozgó felvételek endo- és epicardialis kontúrozásával meghatároztuk a bal (LV) és jobb kamrai (RV) végdiasztolés (EDV), végszisztolés (ESV) és verővolumen (SV), az ejekciós frakciót (EF), és az izomtömeget (M). A paramétereket testfelszínre indexáltuk (i). Megmértük a maximális végdiasztolés falvastagságot (EDWT). TB kiértékelés során az epicardialis kontúr manuális jelölését követően a szoftver (MassK 7.6, Medis, Leiden, Hollandia) jelintenzitás-különbség alapján elkülöníti az izomszövetet a vértől.

Feature-tracking strain analízist végeztünk MedisSuite szoftver QStrain modul használatával. Meghatároztuk a globális longitudinális (GLS), cirkumferenciális (GCS) és radiális (GRS) strain értékeket, a basalis, midventricularis és csúcsi LS és CS értékeket, a mechanikus diszperziót (MD), a csúcs és szisztolés strain szórását.

A LGE felvételeken vizsgálatuk a kontraszthalmozás mintázatát és kvantifikáltuk a miokardiális fibrózist.

IV. EKG felvételek kiértékelése

A 12-elvezetéses EKG felvételeken (25 mm/s and 10 mm/mV) meghatároztuk a BKH-t jelző a Cornell indexet, a Sokolow-Lyon indexet és a Romhilt-Estes score-t. Vizsgáltuk a patológiás Q-hullám, a fragmentált QRS (fQRS) jelenlétét, illetve az ST-szakasz és T-hullám eltéréseit és a strain jelet.

V. Statisztikai analízis

A változók normalitását Shapiro-Wilk vagy Kolmogorov-Smirnov teszttel vizsgálatuk. Két csoport összehasonlítására t próbát vagy Mann-Whitney próbát alkalmaztunk, három vagy több csoport összehasonlítására ANOVA, illetve Kruskal-Wallis tesztet használtunk. Folytonos változók közötti összefüggéseket Spearman féle rang korrelációval vizsgáltuk. EKG kritériumok szenzitivitásának összehasonlítására McNemar tesztet végeztünk. Túlélést Kaplan-Meier görbe és logrank teszt segítségével vizsgáltuk. Szív MR paraméterek prognosztikus értékét

univariáns és multivariáns Cox regressziós modelleken elemeztük. Az interobszerver egyezést intraclass korrelációs koefficiens (ICC) meghatározásával vizsgáltuk. A $p < 0,05$ eredményt fogadtuk el szignifikáns különbségként. A statisztikai vizsgálathoz a MedCalc szoftvert használtuk.

EREDMÉNYEK

1. Hagyományos és TB módszer a bal és jobb kamrai paraméterek meghatározásában

TB kiértékelési módszerrel jellemzően alacsonyabb bal és jobb kamrai volumeneket és magasabb izomtömeget mértünk hagyományos módszerrel összehasonlítva (Táblázat 1).

1. *Táblázat: Bal és jobb kamrai paraméterek hagyományos és TB módszerrel meghatározva*

| | Hagyományos Átlag±szórás | TB Átlag±szórás | p |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|--------|
| LVEF (%) | 56,0±4,8 | 66,8±4,8 | <0,001 |
| LVEDVi (ml/m ²) | 92,6±11,0 | 73,3±8,3 | <0,001 |
| LVESVi (ml/m ²) | 41,0±7,5 | 24,4±5,0 | <0,001 |
| LVSVi (ml/m ²) | 51,7±6,5 | 48,8±5,9 | <0,001 |
| LVMi (g/m ²) | 46,1±8,7 | 66,1±11,7 | <0,001 |
| RVEF (%) | 54,0±5,2 | 59,3±5,6 | <0,001 |
| RVEDVi (ml/m ²) | 92,6±10,0 | 76,5±9,9 | <0,001 |
| RVESVi (ml/m ²) | 42,7±7,5 | 31,2±6,3 | <0,001 |
| RVSVi (ml/m ²) | 50,0±6,0 | 45,3±6,6 | <0,001 |
| RVMi (g/m ²) | 18,8±4,4 | 35,6±5,3 | <0,001 |

Mindkét módszer esetén kiváló interobszerver egyezéseket mértünk. Valamennyi paramétert figyelembe véve az interobszerver egyezés a TB módszerrel volt magasabb (Táblázat 2).

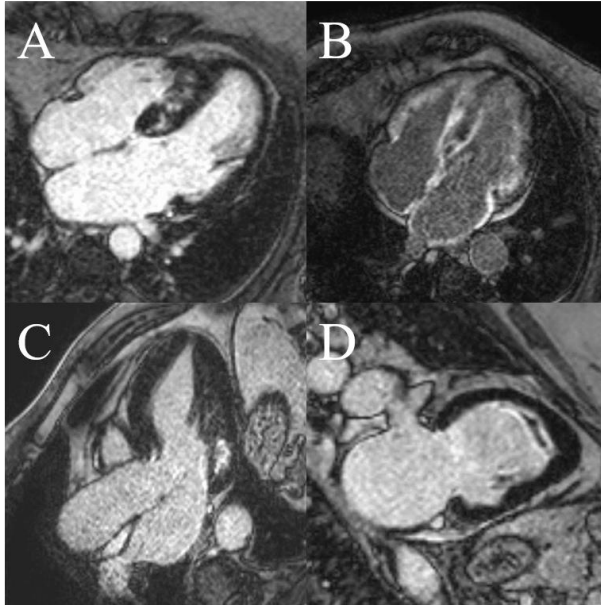
2. Táblázat: *A hagyományos és TB módszer intraclass korrelációs koefficiense*

| | Hagyományos Átlag±szórás | TB Átlag±szórás | p |
|--------------------|-----------------------------|-----------------|----------|
| LV paraméterek | 0,92±0,04 | 0,96±0,03 | p<0,0001 |
| RV paraméterek | 0,80±0,02 | 0,89±0,08 | p<0,0001 |
| Global paraméterek | 0,86±0,03 | 0,92±0,02 | p<0,0001 |

2. BKH-t okozó szívizombetegségek differenciáldiagnosztikája

Összesen 330 HCM-es, 46 CA-s, 12 FD-s és 16 EMF-es beteget vontunk be a vizsgálatba (Ábra 1). A szív MR vizsgálat új diagnózist adott a beutaló diagnózishoz képest HCM esetén 8%-ban, CA esetén 28%-ban, a FD-s betegek 33%-ában, míg EMF-ben 44%-ban. A csoportokat összehasonlítva a CA betegek idősebbek voltak a többi csoportnál, CA és EMF esetén alacsonyabb LVEF, LVSVi, nagyobb mennyiségű LGE-t tapasztaltunk. EMF-re jellemző volt az alacsonyabb LVMI és EDWT a többi csoporttal összehasonlítva. A CA betegeknél csökkentek a globális strain értékek, szegmentális vizsgálattal LS és CS csökkenése a basalis harmadban volt a legmarkánsabb, az apical sparinget leíró csúcsi/basalis strain értékek ebben a csoportban voltak a legmagasabbak. EMF esetén csökkent CS

értékeket mértünk, továbbá ebben a betegcsoportban volt a legalacsonyabb a csúcsi/basalis strain arány. FD-ben alacsonyabb MD-t mértünk.

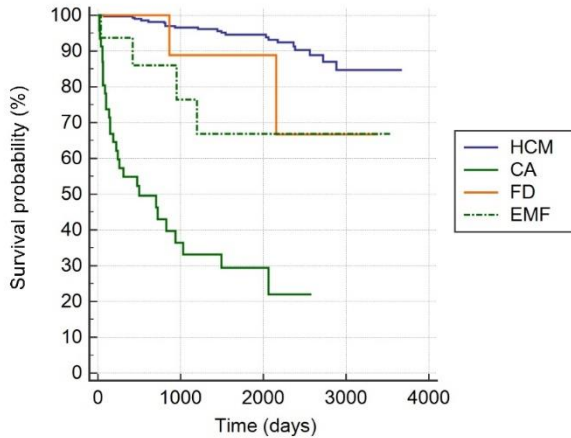


1. **Ábra:** Késői kontraszthalmozásos szív MR felvételek. A: HCM, B: CA, C: FD, D: EMF

A könnyű-lánc CA és HCM elkülönítésében a legnagyobb diagnosztikus pontosságot a kontraszthalmozás mennyisége, a basalis LS és CS és a GRS mutatta (Ábra 1).

A betegek halálózását vizsgálva a CA betegeknek volt a legrosszabb prognózisuk (Ábra 2). Multivariáns regressziós

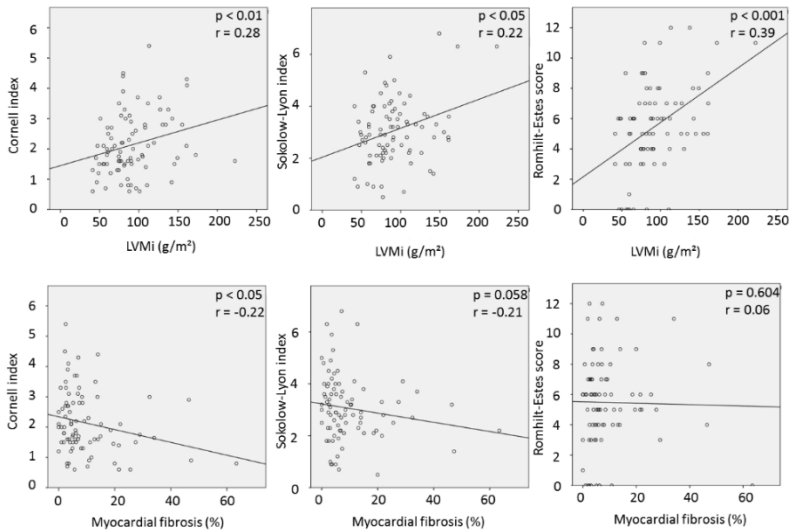
analízissel a halálozás független prediktorai a CA diagnózisa, a LVSVi és a basalis LS voltak.



2. Ábra: *Túlélési valószínűség egyes betegcsoportokban (Kaplan-Meier görbe)*

3. HCM EKG és szív MR jellegzetességei

A HCM-esek 86%-ában volt legalább az egyik EKG hypertrophia kritérium (Cornell index, Sokolow-Lyon index, Romhilt-Estes score) pozitív. A legnagyobb szenzitivitása a Romhilt-Estes score-nak volt. A LVM-gel a Romhilt-Estes score mutatta a legerősebb korrelációt. Negatív korrelációt találtunk a fibrózis és a Cornell index, valamint a fibrózis és a Sokolow-Lyon index között. A Romhilt-Estes score nem mutatott összefüggést a fibrózis mennyiségével (Ábra 3).



3. Ábra: Korreláció az EKG hypertrophia kritériumok és a LVM, illetve fibrózis mennyisége között (Spearman korreláció)

Regressziós analízissel a nagyobb LVM független prediktorai voltak a férfi nem, a strain jel jelenléte és a Sokolow-index pozitívitas. A nagyobb mennyiségű fibrózis független prediktora a fQRS és a strain jel jelenléte volt, míg a Cornel index pozitívitas alacsonyabb mennyiségű fibrózist jelzett.

4. Szív MR paraméterek prognosztikus szerepe HCM-ben

A 187 HCM-es beteg klinikai utánkövetése során 20 beteg hunyt el, a halál okát 11 esetben ismert, közülük 10 esetben szív eredetű halálozás igazolódott. Hat beteg esetén történt szívtranszplantáció, egy esetben abortált hirtelen szívhalál, 9

betegnél detektáltunk adekvát ICD működést, egy esetben pedig elektromos vihart.

Azoknál a betegeknél, akiknél major eseményt rögzítettünk magasabb LVMI-t mértünk mind hagyományos, mind TB módszerrel. Akiknél aritmia esemény történt, magasabb LVMI, TPMi, és nagyobb mennyiségű fibrózis volt jellemző. Regressziós analízissel a kombinált végpont univariáns prediktorai a LVMI, GLS GRS és MDL volt. Független prediktornak a LVMI bizonyult. Az aritmai események univariáns prediktorai a LVEF, LVMI, TPMi és fibrózis voltak.

KÖVETKEZTETÉSEK

Kutatásunkban vizsgáltuk a hagyományos szív MR paraméterek mellett a strain analízis és a miokardiális fibrózist jelző kontraszthalmozás kvantifikálásának szerepét a differenciáldiagnózisban és a prognózis megítélésében, továbbá az EKG és MR jellegzetességek közötti összefüggéseket.

Vizsgáltuk a TPM kvantifikálásának hatását. Eredményeink alapján a kiértékelés módja szignifikánsan befolyásolja a kapott LV és RV értékeket. A TB és hagyományos módszerrel is kiváló interobszerver egyezést találtunk, a két módszert összehasonlítva az interobszerver egyezés kissé magasabb volt a TB kvantifikáció esetén.

A bal kamrai hypertrophiát okozó kórképek differenciáldiagnosztikájában a szív MR vizsgálatnak kiemelt

szerep van. Az újabb szív MR technikák, mint a strain analízis, tovább pontosítják a diagnózist, illetve hozzájárulhatnak a rizikóbecsléshez.

A HCM EKG jellegzetességeit vizsgálva jelentős különbségeket találtunk a hypertrophia EKG kritériumok szenzitivitásában, a Romhilt-Estes score diagnosztikus értéke volt a legmagasabb, ez a kritérium független volt a miokardiális fibrózis mennyiségétől, míg a kizárólag QRS amplitúdón alapuló kritériumok értéke a fibrózis mennyiségének növekedésével csökkent. A fQRS és az EKG strain jel a miokardiális fibrózis jelenlétét jelezte.

A HCM-es betegek prognózisát vizsgálva megállapítottuk, hogy a bal kamrai izomtömeg a major események (halálozás, szívtranszplantáció, malignus aritmia) független prediktora, amit nem befolyásolt az izomtömeg meghatározásának módja. A miokardiális fibrózis mennyisége az aritmia eseményekre volt hatással.

PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

A disszertációhoz kapcsolódó közlemények

Dohy Z, Szabo L, Pozsonyi Z, Csecs I, Toth A, Suhai FI, Czibalmos C, Szucs A, Kiss AR, Becker D, Merkely B, Vago H. Potential clinical relevance of cardiac magnetic resonance to diagnose cardiac light chain amyloidosis. PLoS One. 2022;17(6 June):1–13. **IF: 3.752**

Dohy Z, Szabo L, Toth A, Czibalmos C, Horvath R, Horvath V, Suhai FI, Geller L, Merkely B, Vago H. Prognostic significance of cardiac magnetic resonance-based markers in patients with hypertrophic cardiomyopathy. Int J Cardiovasc Imaging. 2021;37(6):2027–36. **IF: 2.316**

Dohy Z, Vereckei A, Horvath V, Czibalmos C, Szabo L, Toth A, Suhai FI, Csecs I, Becker D, Merkely B, Vago H. How are ECG parameters related to cardiac magnetic resonance images? Electrocardiographic predictors of left ventricular hypertrophy and myocardial fibrosis in hypertrophic cardiomyopathy. Ann Noninvasive Electrocardiol. 2020;25(5):1–9. **IF: 1.468**

Csecs I, Czibalmos C, Suhai FI, Mikle R, Mirzahosseini A, *Dohy Z*, Szűcs A, Kiss AR, Simor T, Tóth A, Merkely B, Vágó H. Left and right ventricular parameters corrected with threshold-

based quantification method in a normal cohort analyzed by three independent observers with various training-degree. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2018;34(7):1127–33. **IF: 1.860**

Dohy Z, Csécs I, Czimbalmos C, Suhai FI, Tóth A, Szabó L, Pozsonyi Z, Simor T, Merkely B, Vágó H. Balkamra-hipertrófiával, illetve megnövekedett falvastagsággal járó cardiomyopathiák szív mágneses rezonanciás jellegzetességei. *Cardiol Hungarica*. 2018;48(6):390–6.

A disszertációtól független, nemzetközi folyóiratban megjelent közlemények

Grebur K, Gregor Z, Kiss AR, Horváth M, Mester B, Czimbalmos C, Tóth A, Szabó LE, **Dohy Z**, Vágó H, Merkely B, Szűcs A. Different methods, different results? Threshold-based versus conventional contouring techniques in clinical practice. *Int J Cardiol*. 2023;381 128-34. **IF: 4.039**

Szabo L, Brunetti G, Cipriani A, Juhasz V, Graziano F, Hirschberg K, **Dohy Z**, Balla D, Drobni Z, Perazzolo Marra M, Corrado D, Merkely B, Zorzi A, Vago H. Certainties and Uncertainties of Cardiac Magnetic Resonance Imaging in Athletes. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2022 Oct 20;9(10):361. **IF: 4.415**

Skoda R, Juhász V, **Dohy Z**, Pintér A, Bokor L, Bárczi G, Vágó H, Merkely B, Becker D. The effect of COVID-19 pandemic on myocardial infarction care and on its prognosis - Experience at a high volume Hungarian cardiovascular center. *Physiol Int.* 2022 Sep 5;109(3):419-26. **IF: 1.697**

Vago H, Szabo L, Szabo Z, Ulakcsai Z, Szogi E, Budai G, Toth A, Juhasz V, **Dohy Z**, Hoffer K, Becker D, Kiss RG, Nagy GG, Nagy G, Merkely B. Immunological response and temporal associations in myocarditis after COVID-19 vaccination using cardiac magnetic resonance imaging: an amplified T-cell response at the heart of it? *Front Cardiovasc Med.* 2022 Sep 15;9:961031. **IF: 5.848**

Ocsovszky Z, Otohal J, Berényi B, Juhász V, Skoda R, Bokor L, **Dohy Z**, Szabó L, Nagy G, Becker D, Merkely B, Vágó H. The associations of long-COVID symptoms, clinical characteristics and affective psychological constructs in a non-hospitalized cohort. *Physiol Int.* 2022;109(2) 230-45. **IF: 1.697**

Kiss AR, Gregor Z, Popovics A, Grebur K, Szabó LE, **Dohy Z**, Kovács A, Lakatos BK, Merkely B, Vágó H, Szűcs A: Impact of Right Ventricular Trabeculation on Right Ventricular Function in

Patients With Left Ventricular Non-compaction Phenotype. *Front Cardiovasc Med.* 2022 Apr 12;9:843952. **IF: 5.848**

Budai A, Suhai FI, Csorba K, **Dohy Z**, Szabo L, Merkely B, Vago H: Automated Classification of Left Ventricular Hypertrophy on Cardiac MRI. *Appl. Sci.* 2022; 12(9):4151. **IF: 2.838**

Szabó L, Juhász V, **Dohy Z**, Fogarasi C, Kovács A, Lakatos BK, Kiss O, Sydó N, Csulak E, Suhai FI, Hirschberg K, Becker D, Merkely B, Vágó H: Is cardiac involvement prevalent in highly trained athletes after SARS-CoV-2 infection? A cardiac magnetic resonance study using sex-matched and age-matched controls. *Br J Sports Med.* 2021 May;56(10):553-560. **IF: 18.479**

Kiss O, Babity M, Kovacs A, Skopal J, Vago H, Lakatos BK, Bogнар C, Rakoczi R, Zamodics M, Frivaldszky L, Menyhart-Hetenyi A, **Dohy Z**, Czimbalmos C, Szabo L, Merkely B. Significance of extended sports cardiology screening of elite handball referees. *PLoS One*, 2021 Apr 9;16(4):e0249923. **IF: 3.752**

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*. 2021 Jun;14(6):1279-81. *Reserarch Letter* **IF: 16.051**

Brenner GB, Giricz Z, Garamvölgyi R, Makkos A, Onódi Z, Sayour NV, Gergely TG, Baranyai T, Petneházy Ö, Kőrösi D, Szabó GP, Vago H, **Dohy Z**, Czibalmos C, Merkely B, Boldin-Adamsky S, Feinstein E, Horváth IG, Ferdinandy P. Post-Myocardial Infarction Heart Failure in Closed-chest Coronary Occlusion/Reperfusion Model in Göttingen Minipigs and Landrace Pigs. *J Vis Exp*. 2021 Apr 17;(170). **IF: 1.424**

Kiss AR, Gregor Z, Furák Á, Szabó LE, **Dohy Z**, Merkely B, Vágó H, Szűcs A. Age- and Sex-Specific Characteristics of Right Ventricular Compacted and Non-compacted Myocardium by Cardiac Magnetic Resonance. *Front Cardiovasc Med*. 2021 Dec 7;8:781393. **IF: 5.848**

Kiss AR, Gregor Z, Furak A, Tóth A, Horváth M, Szabo L, Czibalmos C, **Dohy Z**, Merkely B, Vago H, Szucs A. Left ventricular characteristics of noncompaction phenotype patients with good ejection fraction measured with cardiac magnetic resonance. *Anatol J Cardiol*. 2021 Aug;25(8):565-71. **IF: 1.475**

Csulak E, Petrov Á, Kováts T, Tokodi M, Lakatos B, Kovács A, Staub L, Suhai FI, Szabó EL, **Dohy Z**, Vágó H, Becker D, Müller V, Sydó N, Merkely B. The Impact of COVID-19 on the Preparation for the Tokyo Olympics: A Comprehensive Performance Assessment of Top Swimmers. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Sep 16;18(18):9770. **IF: 4.614**

Gregor Z, Kiss AR, Szabó LE, Tóth A, Grebur K, Horváth M, **Dohy Z**, Merkely B, Vágó H, Szűcs A. Sex- and age-specific normal values of left ventricular functional and myocardial mass parameters using threshold-based trabeculae quantification. *PLoS One*, 2021 Oct 12;16(10):e0258362. **IF: 3.752**

Szűcs A, Kiss AR, Gregor Z, Horváth M, Tóth A, Dohy Z, Szabó LE, Suhai FI, Merkely B, Vágó H. Changes in strain parameters at different deterioration levels of left ventricular function: A cardiac magnetic resonance feature-tracking study of patients with left ventricular noncompaction. *Int J Cardiol*. 2021 May 15;331:124-30. **IF: 4.039**

Vago H, Czimbalmos C, Papp R, Szabo L, Toth A, **Dohy Z**, Csecs I, Suhai F, Kosztin A, Molnar L, Geller L, Merkely B.

Biventricular pacing during cardiac magnetic resonance imaging. *Europace*. 2020 Jan 1;22(1):117-24. **IF: 5.214**

Vágó H, Szabó L, **Dohy Z**, Czibalmos C, Tóth A, Suhai FI, Bárczi G, Gyarmathy VA, Becker D, Merkely B. Early cardiac magnetic resonance imaging in troponin-positive acute chest pain and non-obstructed coronary arteries. *Heart*. 2020 Jul;106(13):992-1000. **IF: 5.994**

Lakatos BK, Molnár AÁ, Kiss O, Sydó N, Tokodi M, Solymossi B, Fábíán A, **Dohy Z**, Vágó H, Babity M, Bognár C, Kovács A, Merkely B. Relationship between Cardiac Remodeling and Exercise Capacity in Elite Athletes: Incremental Value of Left Atrial Morphology and Function Assessed by Three-Dimensional Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2020 Jan;33(1):101-9.e1. **IF: 5.251**

Csecs I, Czibalmos C, Toth A, **Dohy Z**, Suhai IF, Szabo L, Kovacs A, Lakatos B, Sydó N, Kheirhahan M, Peritz D, Kiss O, Merkely B, Vago H. The impact of sex, age and training on biventricular cardiac adaptation in healthy adult and adolescent athletes: Cardiac magnetic resonance imaging study. *Eur J Prev Cardiol*. 2020 Mar;27(5):540-9. **IF: 7.804**

Czibalmos C, Csecs I, Toth A, Kiss O, Suhai FI, Sydo N, **Dohy Z**, Apor A, Merkely B, Vago H. The demanding grey zone: Sport indices by cardiac magnetic resonance imaging differentiate hypertrophic cardiomyopathy from athlete's heart. PLoS One, 2019 Feb 14;14(2):e0211624. **IF: 2.740**

Szűcs A, Kiss AR, Suhai FI, Tóth A, Gregor Z, Horváth M, Czibalmos C, Csécs I, **Dohy Z**, Szabó LE, Merkely B, Vágó H. The effect of contrast agents on left ventricular parameters calculated by a threshold-based software module: does it truly matter? Int J Cardiovasc Imaging. 2019 Sep;35(9):1683-9. **IF: 1.969**

Czibalmos C, Csecs I, **Dohy Z**, Toth A, Suhai FI, Müssigbrodt A, Kiss O, Geller L, Merkely B, Vago H. Cardiac magnetic resonance based deformation imaging: role of feature tracking in athletes with suspected arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy. Int J Cardiovasc Imaging. 2019 Mar;35(3):529-38. **IF: 1.969**