

# A bal kamrai kontraktilitás korszerű echokardiográfiás vizsgálata: a miokardiális munka

Ladányi Zsuzsanna, Fábián Alexandra, Ujvári Adrienn,  
Tokodi Márton, Turschl Tímea, Bálint Tímea, Nagy Dávid,  
Ruppert Mihály, Kovács Attila, Merkely Béla\*,  
Lakatos Bálint Károly\*



A szerző  
video-összefoglalója

Semmelweis Egyetem, Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinika, Budapest

Levelezési cím:

Dr. Ladányi Zsuzsanna, 1122 Budapest, Városmajor utca 68. E-mail: lazszus9@gmail.com

A bal kamrai szisztolés funkció legalapvetőbb echokardiográfiás paramétere az ejekciós frakció (EF), azonban ennek értéke nem mindig követi a kontraktilitás változásait, mivel a myocardium aktuális állapotán túl az elő- és utóterhelési viszonyok is jelentősen befolyásolják. Az elmúlt évtizedben népszerűvé vált, speckle-tracking analízissel meghatározható globális longitudinális strain (GLS). Bár jóval korábban, akár szubklinikus stádiumban is képes a myocardium betegségét kimutatni, azonban ezt a paramétert is jelentősen befolyásolja mind a volumen-, mind a nyomásterhelés. Ezen limitációk kiküszöbölésére került bevezetésre a nyomás-strain hurok elemzésével meghatározható miokardiális munka, amely potenciális szerepét már számos kór állapotban vizsgálták, ahol diagnosztikus és prognosztikus értéke a GLS-ét is meghaladta. Ez az új módszer a miokardiális deformációt a pillanatnyi bal kamrai nyomás függvényében vizsgálja. Így feltételezhető, hogy a nyomásterheléssel járó kór állapotokban is megbízható paramétere a bal kamra kontraktilitásának, és ezen tulajdonsága miatt értékes diagnosztikus és prognosztikus marker. Összefoglaló cikkünk célja annak bemutatása, hogy a miokardiális munka paraméterek milyen hozzáadott értékkel rendelkeznek különböző kardiovaszkuláris kór állapotokban.

**Kulcsszavak:** szívultrahang, miokardiális munka, bal kamrai szisztolés funkció, kontraktilitás, nyomás-strain hurok

## Advanced echocardiographic techniques to evaluate left ventricular contractility: myocardial work analysis

The mainstay echocardiographic parameter of left ventricular systolic function is ejection fraction (EF), however, its value does not always follow contractile changes, as apart from the momentary state of the myocardium, pre- and afterload also affect it significantly. In the last decade global longitudinal strain (GLS) has become prominent. While it may be able to detect even subclinical myocardial disease, this parameter is also heavily affected by volume- and pressure-overload. To mitigate these limitations, myocardial work determined by analyzing pressure-strain loops has been introduced, its potential role has been investigated in numerous cardiovascular diseases, where its diagnostic and prognostic value exceeds even that of GLS. This new method assesses myocardial deformation with regards to the instantaneous left ventricular pressure. Therefore, it is assumed to be a reliable parameter of left ventricular contractility even in diseases with pressure-overload, thus, it could be a valuable diagnostic and prognostic marker. The aim of our review is to show the added value of myocardial work parameters in different cardiovascular diseases.

**Keywords:** echocardiography, myocardial work, left ventricular systolic function, contractility, pressure-strain loop

\*Megosztott utolsó szerzők.

A kézirat 2023. 08. 29-én érkezett a szerkesztőségbe, 2023. 09. 23-án került elfogadásra.

## Bevezetés

### A bal kamrai szisztolés funkció vizsgálatának hagyományos paraméterei

A kardiológiai betegellátás mindennapi gyakorlatában a bal kamrai (BK) szisztolés funkció meghatározása kiemelt jelentőségű, amely leggyakrabban echokardiográfiával történik. Bár a diagnosztikus modalitások folyamatosan fejlődnek, a BK funkció precíz karakterizálása a jelenleg használt paraméterekkel a mai napig jelentős limitációkat hordoz.

A BK pumpafunkcióját több tényező befolyásolja: a kontraktilitás, azaz a myocardium „intrinsic” összehúzódnási képessége (1), a töltöttségi viszonyok (az elő- és az utóterhelés) (2), a szívfrekvencia (3), illetve a BK geometria (3, 4). A BK szisztolés teljesítménye romolhat, javulhat, de akár változatlan is maradhat mind normális, mind abnormális kontraktilitás mellett, attól függően, hogy pumpafunkciót befolyásoló további faktorok milyen mértékben változnak.

A klinikumban jelenleg az ejekciós frakció (EF) a BK szisztolés funkció meghatározásának legalapvetőbb paramétere, amelynek oka erős diagnosztikus és prognosztikus értéke. Azonban az EF értéke nem mindig követi a kontraktilitás változásait, mivel jelentősen befolyásolja mind az elő-, mind az utóterhelés. Így a megtartott EF nem mindig jár megtartott BK kontraktilitással, és a csökkent EF sem feltétlenül mindig jelent megváltozott kontraktilitási készséget (5). Jellegzetes klinikai megfigyelés, hogy a mitrális billentyű elégtelenségének invazív megoldását követően megtartott, sőt szupranormális preoperatív EF ellenére jelentős EF-csökkenés jelentkezhet, míg aortasztenózisban az aortabillentyű cseréje az EF jelentékeny, lényegében azonnali posztprocedurális javulásával járhat. Mindez felhívja a figyelmet arra, hogy az EF alapvetően csak a hemodinamikai terhelési viszonyok kontextusában értelmezhető.

A miokardiális mechanikát pontosabban jellemző globális longitudinális strain (GLS) számos kardiovaszkuláris kórképben kiküszöböli az EF limitációit. Értéke speckle-tracking echokardiográfiával határozható meg, amelynek használata az elmúlt évtizedben széleskörűvé vált, és napjainkban már nemzetközi irányelvek is számos esetben javasolják a használatát. A GLS a szívizomzat hosszirányú deformációját számszerűsíti, amely gyakran már a miokardiális diszfunkció szubklinikai stádiumában is károsodhat, ezzel az EF-nél is érzékenyebb markere a szívizomzat funkcionális károsodásának (6–8). Azonban az EF-hez hasonlóan ezen paramétert is jelentősen befolyásolják a BK töltöttségi viszonyok (9, 10), és inkább a ventrikulo-arteriális kapcsolás, semmint a kontraktilitás markere (11).

Mindezek alapján elmondható, hogy önmagában a BK szisztolés funkció egyik hagyományos paramétere sem szolgáltat kielégítő információt a szívüreg kontraktilis funkciójáról, különös tekintettel a nyomás- és/vagy volumen-túlterheléssel járó kórállapotokra.

### A miokardiális munka

A nyomás-strain hurok elemzésével meghatározható miokardiális munka paraméterek hozzáadott értékét már számos kórállapotban vizsgálták, ahol diagnosztikus és prognosztikus teljesítménye jellemzően a GLS-ét is meghaladta. Ez az új módszer a miokardiális deformációt a pillanatnyi BK nyomás függvényében vizsgálja, ezzel potenciálisan kiküszöbölve a BK deformáció töltöttségi viszonyoktól való erős függését. Állatkísérletes adatok alapján a miokardiális munka analízissel meghatározható globális miokardiális munka index az invazív nyomás-térfoghat analízissel meghatározható „aranystandard” kontraktilitási paraméterekkel jó összefüggést mutat hemodinamikai túlterheléses állapotokban is. Mindezek alapján a globális miokardiális munka index a BK kontraktilitás noninvazív klinikai paraméterévé léphet elő (12–14).

Mindennek figyelembevételével összefoglaló cikkünk célja annak bemutatása, hogy a miokardiális munka paraméterek milyen hozzáadott értékkel rendelkeznek különböző kardiovaszkuláris kórállapotokban.

### A miokardiális munka meghatározása

A miokardiális munka meghatározásához speckle-tracking analízisre alkalmas transztorakális echokardiográfiás felvételekre, illetve noninvazív vérnyomásmérésre van szükség. A strain analízist félautomata szoftverrel (EchoPAC v204, GE Healthcare, Chicago, IL, USA) végezzük apikális 2-, 3- és 4-üregű felvételek alapján. A szoftver ezután mandzsettás vérnyomásmérés értékeiből – invazív mérésekkel szemben validált módszerrel – becsüli a BK nyomásgörbét (15). Ebből, illetve a strain-görbéből a szoftverrel nyomás-strain hurkokat hozunk létre, amelyhez még a szív ciklus dedikált pontjainak (a mitrális- és az aortabillentyű nyitódásának és záródásának) meghatározása szükséges, amelyet egy csúcsi háromüregi nézet alapján jelölhetünk be a szoftverben. A globális miokardiális munka indexet (global myocardial work index: GWI) a BK teljesítmény („power”, azaz a strain rate és a pillanatnyi BK nyomás szorzatának) mitrális billentyű záródása és nyitódása közötti idő szerinti integrálásával számolja a szoftver. A globális konstruktív munka (global constructive work: GCW) jelenti a munka pumpafunkcióhoz hozzájáruló részét (a myocyták rövidülése szisztolé alatt és elongációja az izovolumetriás relaxáció alatt), míg a globális elvesztegetett munka (global wasted work: GWW) a pumpafunkcióhoz hozzá nem járuló része (a myocyták elongációja szisztolé alatt és rövidülése az izovolumetriás relaxáció alatt). A globális miokardiális hatékonyság (global myocardial work efficiency: GWE) pedig a konstruktív és az összes munka hányadosa, amelyet százalékként adunk meg (1. ábra). Egy nemrégiben megjelent metaanalízis kapcsán nagy kumulatív esetszámon alapuló normálértékekkel rendelkezünk (16).

Miokardiális munka paraméter	Definíció	Normál tartomány (95% CI)
Globális miokardiális munka index (GWI)	A bal kamrai teljesítmény („power”, azaz a strain rate és a pillanatnyi bal kamrai nyomás szorzatának) idő szerinti integrálása a mitrális billentyű záródása és nyitódása között	1907-2113 Hgmm%
Globális konstruktív munka (GCW)	A pumpafunkcióhoz hozzájáruló munka (a miociták rövidülése szisztolé alatt és elongációja az izovolumetriás relaxáció alatt)	2186-2369 Hgmm%
Globális „elvesztegetett munka” (GWW)	A pumpafunkcióhoz hozzá nem járuló munka (a miociták elongációja szisztolé alatt és rövidülése az izovolumetriás relaxáció alatt)	73-87 Hgmm%
Globális miokardiális hatékonyság (GWE)	A konstruktív munka és az összmunka hányadosa: $GCW / (GCW+GWW) * 100$	96-96 %

1. ÁBRA. A miokardiális munka paraméterek definíciói és normáltartományai (Truong munkacsoportjának metaanalízise alapján) (16). Rövidítések: BK: bal kamrai; CI: fiducia intervallum

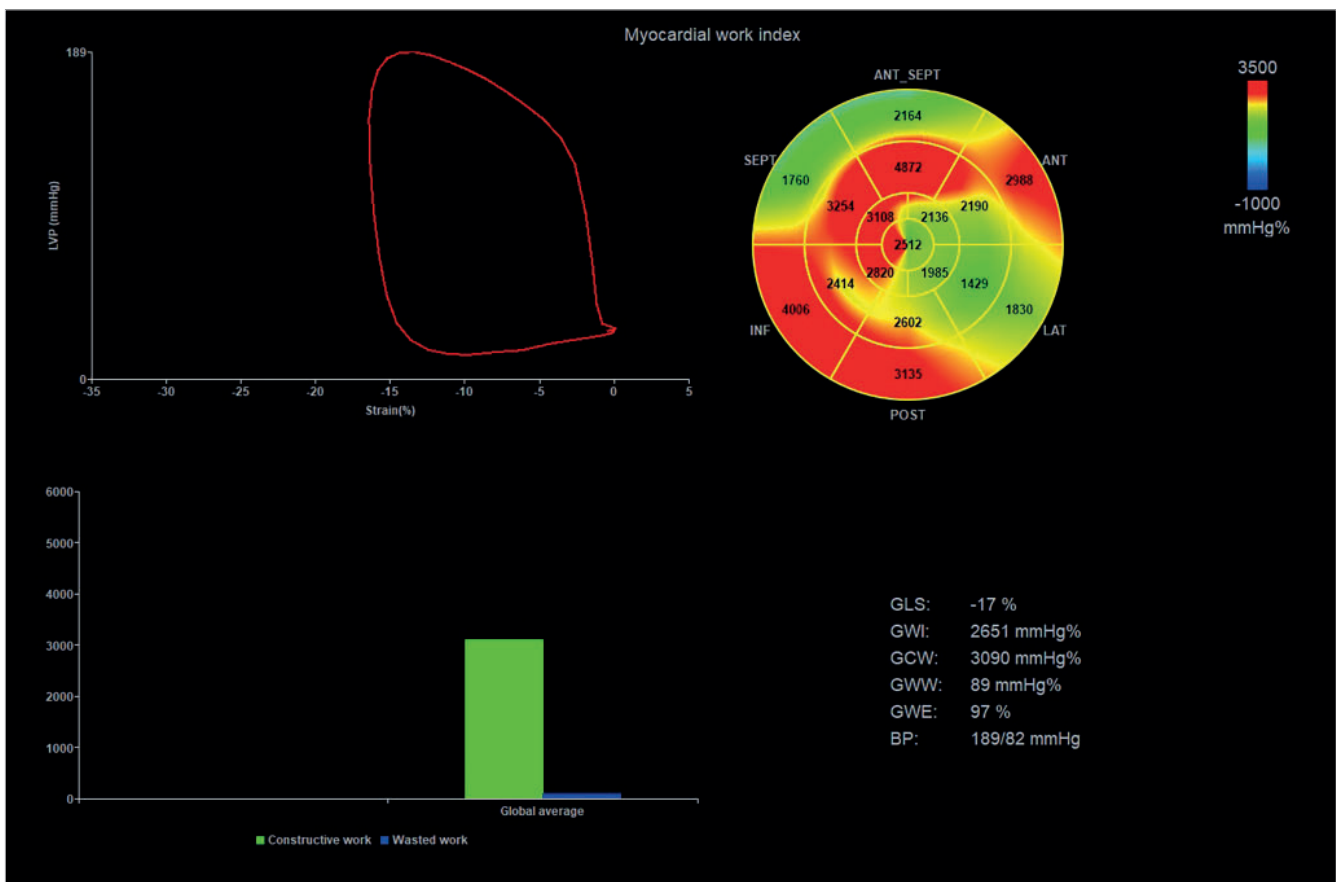
### A miokardiális munka vizsgálata különböző kardiiovaszkuláris kórállapotokban

A miokardiális munkát az elmúlt években több különböző kardiiovaszkuláris kórállapotban vizsgálták, bizonyítva hozzáadott klinikai értékét.

#### Magas vérnyomás

A leggyakoribb emelkedett utóterheléssel járó kórkép a magas vérnyomás, így ezen megbetegedés klasszikus

példája annak, hogy a nyomásterhelés megnehezíti az EF és a GLS változásainak interpretációját. Több vizsgálat is emelkedett GWI-ről számolt be (amelynek mértéke a hipertónia súlyosságától függ), a GCW és a GWW is növekvő tendenciát mutatott, miközben a GWE változatlan maradt (17, 18). Tehát a szívizomzat nem veszített a hatékonyságából, de a nagyobb utóterheléssel szemben nagyobb munkát kellett kifejtenie. Ezen augmentált kontraktilis funkció azonban az utóterhelési viszonyok miatt csökkent GLS értékében nem tükröződik.



2. ÁBRA. Egy aortabílytű-sztenózisban szenvedő páciens miokardiális munka analizésének eredménye: megtartott EF (61%) és GLS, jelentősen emelkedett GWI és GCW, illetve enyhén emelkedett GWW- és GWE-értékek. Rövidítések: LVP: bal kamrai nyomás; EF: ejekciós frakció; GLS: globális longitudinális strain; GWI: globális miokardiális munka index; GCW: globális konstruktív munka; GWW: globális elvesztegetett munka; GWE: globális miokardiális hatékonyság; BP: vérnyomás

## Billentyűbetegségek

### Aortabillentyű-szstenózis

A krónikus BK nyomásterhelés másik jellegzetes példája az aortabillentyű-szstenózis. Súlyos fokú billentyűszűkület esetén *Ilardi és munkatársai* megnövekedett GWI-, GCW- és GWW-értékeket találtak, megtartott GWE mellett (2. ábra). A betegség kórlefolásának előrehaladtával a GWI- és GCW-értékek csökkenni kezdenek, ezek az alacsonyabb miokardiális munka értékek pedig emelkedett halálózással hozhatók összefüggésbe (19). Transzkatóteres aortabillentyű-cserét (TAVI) követően *Franco és munkatársai* 53 betegen csökkenő GWI-t, GCW-t és GWE-t tapasztaltak, mivel a magas utóterhelést kompenzáló emelkedett kontraktilitás normalizálódik a beavatkozás után (20). *Wu és munkatársainak* eredményei alapján pedig a csökkent GWI az összhalálózás független prediktora volt egy prospektíven követett TAVI-s populációban (21).

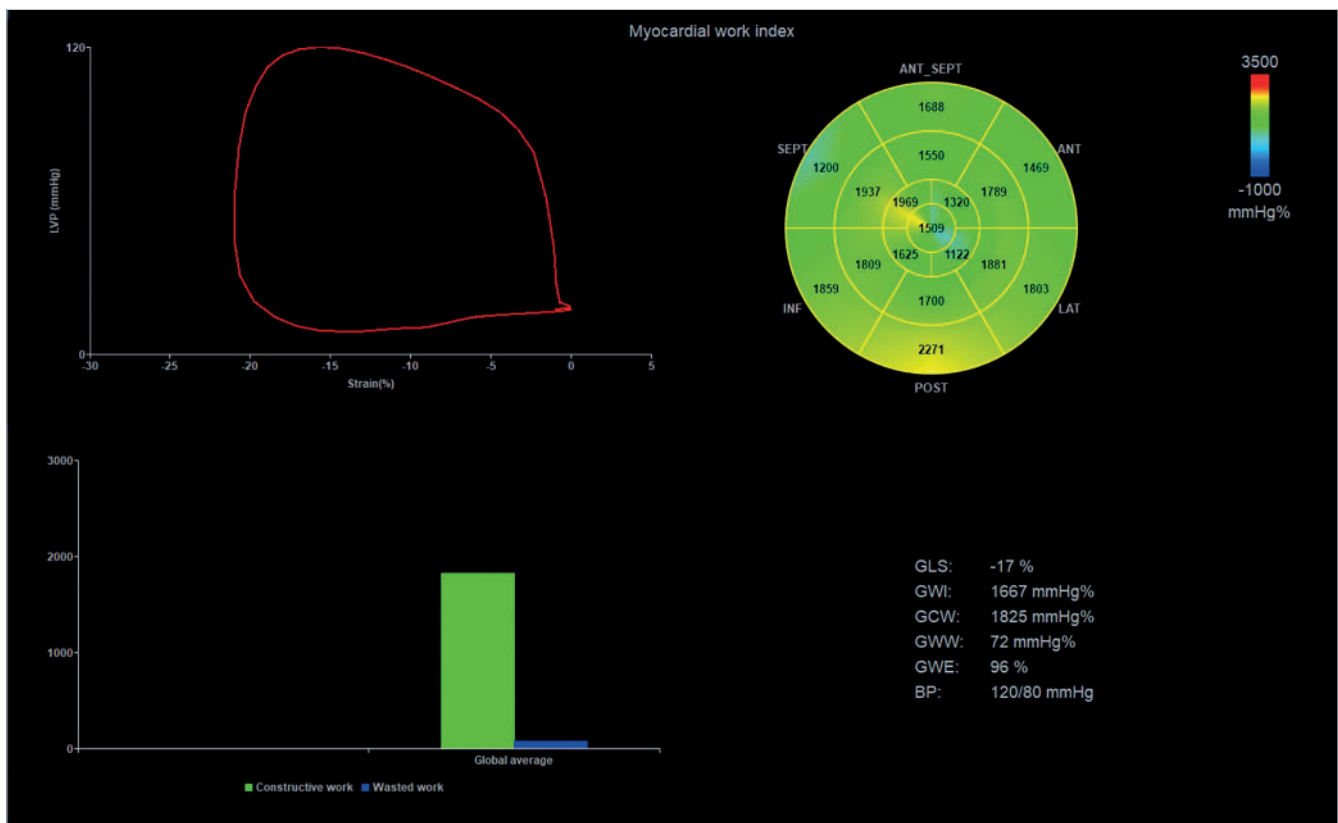
### Aortabillentyű-regurgitáció

Az aortabillentyű-regurgitáció olyan volumenterheléssel járó kórkép, amely sokáig tünetmentes marad, ezért rendkívül fontos a BK szisztolés diszfunkció korai észlelése. *D'Andrea munkacsoportja* 115 súlyos, tünetmentes aortabillentyű-insufficienciával és megtartott EF-fel rendelkező páciens vizsgálatokor csökkent GLS-

ről és GWE-ről, valamint emelkedett GWW-ről számolt be (22), tehát megtartott GWI mellett is a myocardium összehúzódásának hatékonysága csökkent.

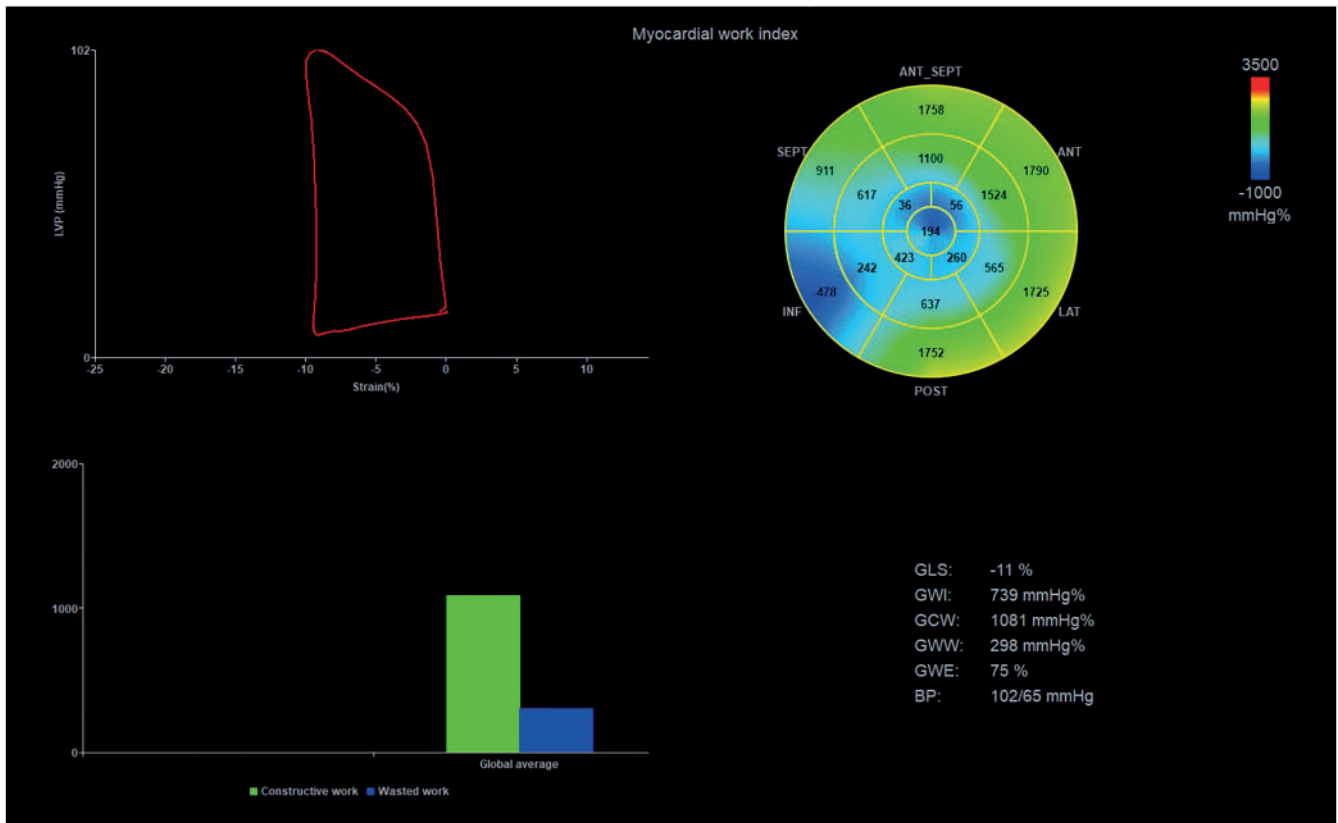
### Mitrális regurgitáció

A mitrális regurgitáció szintén krónikus BK előterhelés-emelkedéssel jár. *Yedidya és munkatársai* egy 373 fős populáción súlyos és enyhe fokú insuficiencia összehasonlításokor csökkent GWI-t, GCW-t és GWW-t figyeltek meg emelkedett GWE mellett a súlyos regurgitációtól szenvedő pácienseknél (3. ábra). Tehát bár a miokardiális hatékonyság jobbnak tűnik ebben a populációban, ennek oka, hogy a kontraktilitás összességében romlik ezeknél a betegeknek, és csupán az elvesztegetett munka nagyobb mértékben csökken, mint a konstruktív, így a miokardiális hatékonyság számításokor a számláló kisebb mértékben csökken, mint a nevező. Ennek megfelelően az alacsony GWI (<500 Hgmm%) és GCW (<750 Hgmm%) értékek szoros összefüggést mutattak az összhalálózással ebben a betegcsoportban (23). Ezen felül a mitrálisbillentyű-insufficiencia transzkatóteres úton, MitraClip eszközzel történő korrekciója után *Papadopoulos és munkatársai* emelkedő GWI-értékekről számoltak be, miközben a GLS változatlan maradt (24). Mindennek tükrében a billentyűbetegségtől szenvedő



**3. ÁBRA.** Egy mitrálisbillentyű-regurgitációtól szenvedő páciens miokardiális munka analizésének eredménye: megtartott EF (59%) és GLS, csökkent GWI, GCW és GWW, illetve megtartott GWE-értékek.

Rövidítések: LVP: bal kamrai nyomás; EF: ejekciós frakció; GLS: globális longitudinális strain; GWI: globális miokardiális munka index; GCW: globális konstruktív munka; GWW: globális elvesztegetett munka; GWE: globális miokardiális hatékonyság; BP: vérnyomás



**4. ÁBRA.** Egy inferior fali miokardiális infarktuson átesett páciens miokardiális munka analizisének eredménye: csökkent EF (41%) és GLS, csökkent GWI, GCW és GWE, illetve emelkedett GWW-értékek. A miokardiális munka változása az infarktus által érintett szegmentumokban a legkifejezettebb, jelezve a diszkinetikus szegmentumok „elvesztegetett” munkáját. Rövidítések: LVP: bal kamrai nyomás; EF: ejekciós frakció; GLS: globális longitudinális strain; GWI: globális miokardiális munka index; GCW: globális konstruktív munka; GWW: globális elvesztegetett munka; GWE: globális miokardiális hatékonyság; BP: vérnyomás

dő pácienseknél a miokardiális munka paraméterek segíthetik a billentyűcsere ideális időpontjának kiválasztását, valamint a páciensek utánkötését.

### Szívégtelenség

#### Szívégtelenség csökkent ejekciós frakcióval

Az emelkedett elő- és utóterhelés klasszikus kórállapotain túl Wang és munkatársai 508 csökkent ejekciós frakcióval rendelkező szívégtelen páciens (HFrEF) vizsgáltak retrospektíven. Az alacsonyabb GWI (<750 Hgmm%) szignifikáns összefüggést mutatott a szívégtelenség miatti hospitalizáció gyakoriságával és a mortalitással, és jobb prognosztikus faktornak bizonyult mind az EF-nél, mind a GLS-nél (25).

#### Szívégtelenség megtartott ejekciós frakcióval

Ezzel szemben Lin és munkatársainak vizsgálatában 107 megtartott ejekciós frakciójú szívégtelen betegen (HFpEF) a GWI és GCW is megtartottnak bizonyult, miközben a GWW növekedése, és a GWE ebből adódó csökkenése dominált, azaz a szívizomzat hatékonysága jelentősen romlott (26). Ennek megfelelően Paolisso és munkatársai kutatásában a GWW jelentős emelkedése (>170 Hgmm%) szignifikáns prediktora volt a

beteg szívégtelenség miatti hospitalizációjának és ennek a halálozással való kombinációjának. Ez az emelkedett GWW négyszeres rizikót jelentett major adverz kardiovaszkuláris események (MACE), illetve háromszoros rizikót major adverz események (MAE) tekintetében (27).

### Iszkémiás szívbetegség

Az iszkémiás szívbetegség korai felismerése kulcsfontosságú, hogy időben megkezdődhessen a terápia, megelőzhessük a koronáriszűkületek progresszióját és egy esetleges akut eseményt. Ebben is segítséget nyújthat számunka a miokardiális munka meghatározása: Parlavecchio és munkatársai metaanalízisükben kimutatták, hogy a GCW remek diagnosztikus pontossággal képes prediktálni a koronáriabetegséget, amely meghaladja a GLS és a többi munkaparaméter pontosságát is (28).

Akut miokardiális infarktust követően nagy jelentőségű a betegek utánkötése, aminek fontos eleme a BK falmozgászavarok és a szisztolés funkció vizsgálata. Wang és munkatársai 98 perkután koronáriaintervención átesett beteget vizsgálva hasonlították össze azokat, akik egy hónap után adverz remodelációt mutat-

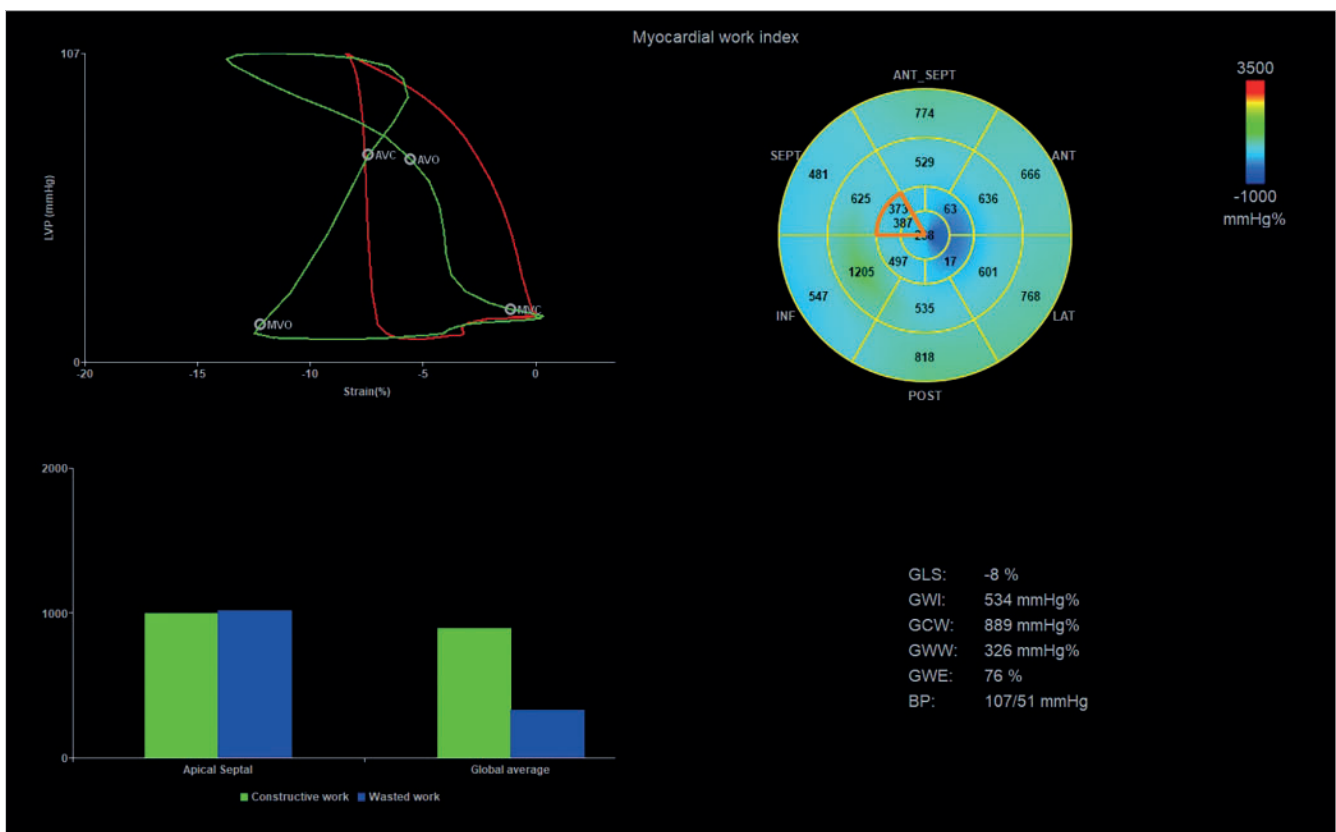


tak, valamint azokat, akik nem. Az előbbi csoportban a GWI, GCW és GWE is alacsonyabb volt a nem remodellálódókhoz képest. Ezen felül a remodellálódó betegekben a culprit régiók szegmentális munka értékei nagyobb eltérést mutattak az infarktus által nem érintett területekhez képest, mint a nem remodellálódó páciensekben (29) (4. ábra). Ezen felül a szegmentális munka értékei szoros összefüggést mutattak a kontraszt-echokardiográfiás úton meghatározott mikrovaskuláris perfúzióval (30).

### Diszszinkronia

A diszszinkroniával járó kórállapotokban nagy jelentőségű nem csupán a BK globális teljesítményének, hanem a szegmentális eltéréseknek a számszerűsítése is, amelyre a strain analízishez hasonlóan a miokardiális munka vizsgálata esetén is lehetőség adódik. *Gao és munkatársai* megtartott EF-fel rendelkező idiopátiás balszárblokkos betegeken a csökkent GLS mellett csökkent GWI-t, GWE-t és emelkedett GWW-t figyeltek meg, amelyek eltérése a szeptális és az apikális szegmentumokban volt a legjelentősebb (31).

*Zhu és munkatársai* eredményei alapján biventrikuláris pacemaker (CRT) beültetése után a rezponder és nonresponder páciensek összehasonlításakor a rezponderek magasabb preoperatív GWI- és GCW-értékekkel rendelkeztek. Ezen felül magasabb preoperatív midlaterális szegmentális miokardiális munka indexet és konstruktív munkát, valamint alacsonyabb midszeptális szegmentális miokardiális munka indexet és miokardiális hatékonyságot találtak a rezpondereknél. Ezen paraméterek közül az alacsony midszeptális szegmentális miokardiális hatékonyság (<42%) kombinálva a 740 Hgmm%-nál nagyobb midlaterális szegmentális miokardiális munka index-szel a CRT-responderitás kiváló prediktorának bizonyult (32) (5. ábra). *Riolet és munkatársai* kutatásában pedig az alacsony GWW (<200 Hgmm%) a rezponderitás hiányával és az összhalálozás növekedésével volt szoros összefüggésben (33). Ezen eredmények alapján a miokardiális munka számítása egy régóta várt, klinikai felhasználásra kész echokardiográfiás rezponderitást jelző marker lehet a CRT kandidátus populációban.



**5. ÁBRA.** CRT-beültetés előtt álló páciens miokardiális munka analízisének eredménye: csökkent EF (27%) és GLS, csökkent GWI, GCW és GWE, illetve emelkedett GWW-értékek. A bal Tawara-szárblokk következtében jelentősen csökkent a szeptális funkció: a szeptális csúcsi szegmentum zöld színű nyolcas alakú nyomás-strain hurkán jelentékeny mennyiségű elvesztegetett munka figyelhető meg szisztolé alatti megnyúlással, ezáltal a kamraközi sövény csekély mértékben járul csak hozzá a bal kamrai ejekcióhoz. A globális munkát a korábbi ábrákhoz hasonlóan a vörös hurok reprezentálja.  
 Rövidítések: LVP: bal kamrai nyomás; EF: ejekciós frakció; GLS: globális longitudinális strain; GWI: globális miokardiális munka-index; GCW: globális konstruktív munka; GWW: globális elvesztegetett munka; GWE: globális miokardiális hatékonyság; BP: vérnyomás

### Dilatatív cardiomyopathia

*Cui és munkatársai* dilatatív cardiomyopathiában (DCM) szenvedő betegekben alacsonyabb GWI és szegmentális miokardiális munka index értékeket találtak egészséges kontrollokhoz viszonyítva. Hathónapos gyógyszeres szívelégtelenség-terápia után a DCM-es páciensek GWI-értékei jelentősen javultak, ellenben sem az EF, sem a GLS nem változott (34). Ez a munkacsoport egy másik cikkükben DCM-es páciensekben a szív mágneses rezonanciás vizsgálatával (CMR) a késői kontrasztanyag-halmozás (LGE) segítségével határozta meg a miokardiális fibrózis jelenlétét. Ennek a GCW bizonyult a legpontosabb prediktorának, meghaladva a GWI, a GWE, valamint a GLS predikciós értékét is (35).

### Hipertrófiás cardiomyopathia

Hipertrófiás cardiomyopathiában (HCM) szenvedő betegeknek *Zhao és munkatársai* egészséges kontrollokhoz képest jelentősen csökkent GWI, GCW és GWE, illetve emelkedett GWW-értékeket találtak. Azaz a myocardium által végzett munka összességében és hatékonyságában is csökkent (36). Egy apikális HCM-es pácienseket vizsgáló kutatásban a magas GWW (>186 Hgmm%) kiváló prediktora volt az összhalálozásból, hirtelen halálból, szívinfarktusból és/vagy stroke-ból álló kompozit végpontnak (37).

### Sportszív

A HCM elkülönítése a sportszívtől bizonyos „szürke zónás” esetekben nehézségekbe ütközhet. Ebben segítséget nyújthat számunkra a miokardiális munka. A HCM-páciensek fenti értékeivel ellentétben kutatócsoportunk élsportoló úszókat vizsgálva emelkedett GWI és GCW értékeket talált, miközben a GWW és GWE értékeiben nem volt eltérés a kontrollokhoz viszonyítva. Továbbá a GWI jó összefüggést mutatott a sportolók csúcs-oxigénfelvétel ( $VO_{2max}$ ) értékével mint a kardio-pulmonális edzettség markerével (14).

### Egyéb kórállapotok

A miokardiális munkát számos egyéb kórképben is vizsgálták. Ezek közül szívamiloidózisban a csökkent GWI mind MACE, mind összhalálozás szempontjából jelentős rizikóemelkedéssel járt (38). Poszt-COVID-páciensek egészséges kontrollokkal való összehasonlításakor egy magyar munkacsoport alacsonyabb GLS- és GWI-értékeket talált a fertőzésen átesetteknél (39). A kemoterápiás szerek okozta miokardiális diszfunkció vizsgálatok pedig *Zhan és munkatársai* előbb észlelték romlást a GWI-, GCW- és GWW-értékekben, semmint hogy a GLS és az EF csökkenni kezdett volna (40).

### Jövőbeli kitekintés

A noninvazív miokardiális munka a hagyományos technikáknál érzékenyebb diagnosztikus és prognosz-

tikus marker, így adott a kérdés, hogy a bal kamrán túl a többi szívüregről is hasonlóan értékes információval tudna-e szolgálni. Ennek egyik legnagyobb limitáló tényezője az adott szívüregbeli nyomás noninvazív becslése. *Butcher és munkatársai* a jobb kamrai nyomás becsléséhez a szívultrahanggal meghatározott kisvérköri nyomást használták fel, a jobb kamrai strain analízist és a szív ciklus szakaszainak meghatározását pedig ugyanazzal a szoftverrel végezték, ami a BK vizsgálatához is elérhető. Ezután pedig az így kapott noninvazív miokardiális munka paramétereit összevetették jobbszívfél-katéterezéssel meghatározott invazív eredményekkel, és szoros összefüggéseket találtak a verőtér fogattal és a verőtér fogat-indexszel (41).

Bár a nyomás-strain hurkok alapján meghatározott miokardiális munka számos kardiovaszkuláris megbetegedésben szolgál jelentős hozzáadott értékkel. A kontraktilitást legprecízebben nyomásterheléssel (vagy változatlan töltöttségi viszonyokkal) járó kórképekben követi, így ezen képessége volumenterheléssel járó kórállapotokban korlátozott. Ezért kutatócsoportunk nyomás-strain-tér fogat hurkok analízisével létrehozott egy módosított miokardiális munka paramétert, amely a BK pillanatnyi méretét is figyelembe veszi. Ezen paraméter igen szoros korrelációt mutatott az invazív úton meghatározott kontraktilitással BK volumen-túlterhelés patkánymodelljén, míg mitrálisbillentyű-műtéten áteső páciensekben a beavatkozás kapcsán markánsan változó EF és GLS mellett is változatlanul bizonyult (42).

### Következtetések

A miokardiális munka a BK szisztolés funkció korszerű, a klinikai gyakorlatba könnyen átültethető paramétere, amely megváltozott töltöttségi viszonyok mellett is szoros összefüggést mutat a kontraktilitással. A legfontosabb kérdés, hogy ennek köszönhetően tud-e többletinformációval szolgálni a pumpafunkció hagyományos paramétereire, az EF-hez és a GLS-hez képest. Ezért már számos kardiovaszkuláris kórképben vizsgálták a miokardiális munka paraméterek változásait, illetve diagnosztikus és prognosztikus erejüket, amely robusztusnak bizonyult, és meghaladta a hagyományos szívultrahangos paraméterekét. Ugyanakkor mivel ez egy újnak számító metodika; ezért további, nagyobb populációkat hosszabb utánkövetéssel vizsgáló kutatásokra van szükség ahhoz, hogy a későbbiekben egy potenciálisan irányelvekbe ültethető, mindennapi gyakorlatban használt módszerré váljon.

### Nyilatkozat

*A szerzők kijelentik, hogy az összefoglaló közlemény megírásával kapcsolatban nem áll fenn velük szemben*

*semmi féle pénzügyi vagy egyéb összeütközés, összeférhetetlenségi ok, amelyek befolyásolhatnák a közleményben bemutatott eredményeket, az azokból levont következtetéseket vagy azok értelmezését.*

### Finanszírozás és támogatás

*A kutatást támogatta az ÚNKP-22-3-I-SE-52 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium által meghirdetett Új Nemzeti Kiválósági Program keretében a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból. Közleményünket támogatta az RRF-2.3.1-21-2022-00003 számú projekt, amely az Európai Unió támogatásával valósult meg; illetve a TKP2021-EGA-23 projekt, amely az Innovációs és Technológiai Minisztérium segítségével a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatásával valósult meg a TKP2021-EGA finanszírozási rendszer keretében.*

### Irodalom

1. Muir WW, Hamlin RL. Myocardial Contractility: Historical and Contemporary Considerations. *Front Physiol* 2020; 11: 222. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00222>
2. Norton JM. Toward consistent definitions for preload and afterload. *Adv Physiol Educ* 2001; 25(1-4): 53-61. <https://doi.org/10.1152/advances.2001.25.1.53>
3. Song Z, Borazjani I. The Role of Shape and Heart Rate on the Performance of the Left Ventricle. *J Biomech Eng* 2015; 137(11): 114501. <https://doi.org/10.1115/1.4031468>
4. Lieb W, Gona P, Larson MG, et al. The natural history of left ventricular geometry in the community: clinical correlates and prognostic significance of change in LV geometric pattern. *JACC Cardiovasc Imaging* 2014; 7(9): 870-8. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2014.05.008>
5. Konstam MA, Abboud FM. Ejection Fraction: Misunderstood and Overrated (Changing the Paradigm in Categorizing Heart Failure). *Circulation* 2017; 135(8): 717-719. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.025795>
6. Shah AM, Claggett B, Sweitzer NK, et al. Prognostic Importance of Impaired Systolic Function in Heart Failure With Preserved Ejection Fraction and the Impact of Spironolactone. *Circulation* 2015; 132(5): 402-14. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.015884>
7. Olah A, Kovacs A, Lux A, et al. Characterization of the dynamic changes in left ventricular morphology and function induced by exercise training and detraining. *Int J Cardiol* 2019; 277: 178-185. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.10.092>
8. Matyas C, Kovacs A, Nemeth BT, et al. Comparison of speckle-tracking echocardiography with invasive hemodynamics for the detection of characteristic cardiac dysfunction in type-1 and type-2 diabetic rat models. *Cardiovasc Diabetol* 2018; 17(1): 13. <https://doi.org/10.1186/s12933-017-0645-0>
9. Fredholm M, Jorgensen K, Houltz E, et al. Load-dependence of myocardial deformation variables – a clinical strain-echocardiographic study. *Acta Anaesthesiol Scand* 2017; 61(9): 1155-1165. <https://doi.org/10.1111/aas.12954>
10. Voigt JU, Cvjic M. 2- and 3-Dimensional Myocardial Strain in Cardiac Health and Disease. *JACC Cardiovasc Imaging* 2019; 12(9): 1849-1863. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.01.044>
11. Ruppert M, Lakatos BK, Braun S, et al. Longitudinal Strain Reflects Ventriculoarterial Coupling Rather Than Mere Contractility in Rat Models of Hemodynamic Overload-Induced Heart Failure. *J Am Soc Echocardiogr* 2020; 33(10): 1264-1275 e4. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2020.05.017>
12. Pacher P, Nagayama T, Mukhopadhyay P, et al. Measurement of cardiac function using pressure-volume conductance catheter technique in mice and rats. *Nat Protoc* 2008; 3(9): 1422-34. <https://doi.org/10.1038/nprot.2008.138>
13. Lakatos BK, Ruppert M, Tokodi M, et al. Myocardial work index: a marker of left ventricular contractility in pressure- or volume overload-induced heart failure. *ESC Heart Fail* 2021; 8(3): 2220-2231. <https://doi.org/10.1002/ehf2.13314>
14. Tokodi M, Olah A, Fabian A, et al. Novel insights into the athlete's heart: is myocardial work the new champion of systolic function? *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2022; 23(2): 188-197. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab162>
15. Russell K, Eriksen M, Aaberge L, et al. A novel clinical method for quantification of regional left ventricular pressure-strain loop area: a non-invasive index of myocardial work. 2012: 724-733. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehs016>
16. Truong VT, Vo HQ, Ngo TNM, et al. Normal Ranges of Global Left Ventricular Myocardial Work Indices in Adults: A Meta-Analysis. *J Am Soc Echocardiogr* 2022; 35(4): 369-377 e8. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2021.11.010>
17. Chan J, Edwards NFA, Khandheria BK, et al. A new approach to assess myocardial work by non-invasive left ventricular pressure-strain relations in hypertension and dilated cardiomyopathy. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2019; 20(1): 31-39. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jey131>
18. Jaglan A, Roemer S, Perez Moreno AC, et al. Myocardial work in Stage 1 and 2 hypertensive patients. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2021; 22(7): 744-750. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab043>
19. Ilardi F, Postolache A, Dulgheru R, et al. Prognostic Value of Non-Invasive Global Myocardial Work in Asymptomatic Aortic Stenosis. *J Clin Med* 2022; 11(6). <https://doi.org/10.3390/jcm11061555>

20. Franco D, Santoro A, Gioia GD, et al. Assessing the impact of transcatheter aortic valve replacement on myocardial work indices and left ventricular diastolic function in aortic valve stenosis patients. *Echocardiography* 2023. <https://doi.org/10.1111/echo.15639>
21. Wu HW, Fortuni F, Butcher SC, et al. Prognostic value of left ventricular myocardial work indices in patients with severe aortic stenosis undergoing transcatheter aortic valve replacement. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2023. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jead157>
22. D'Andrea A, Sperlongano S, Formisano T, et al. Stress Echocardiography and Strain in Aortic Regurgitation (SESAR protocol): Left ventricular contractile reserve and myocardial work in asymptomatic patients with severe aortic regurgitation. *Echocardiography* 2020; 37(8): 1213-1221. <https://doi.org/10.1111/echo.14804>
23. Yedidya I, Lustosa RP, Fortuni F, et al. Prognostic Implications of Left Ventricular Myocardial Work Indices in Patients With Secondary Mitral Regurgitation. *Circ Cardiovasc Imaging* 2021; 14(9): e012142. <https://doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.120.012142>
24. Papadopoulos K, Ikonomidis I, Chrissoheris M, et al. MitraClip and left ventricular reverse remodelling: a strain imaging study. *ESC Heart Fail* 2020; 7(4): 1409-1418. <https://doi.org/10.1002/ehf2.12750>
25. Wang CL, Chan YH, Wu VC, et al. Incremental prognostic value of global myocardial work over ejection fraction and global longitudinal strain in patients with heart failure and reduced ejection fraction. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2021; 22(3): 348-356. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa162>
26. Lin M, Qin Y, Ding X, et al. Association between left ventricular geometry and global myocardial work in patients with heart failure with preserved ejection fraction: assessment using strain-pressure loop. *Int J Cardiovasc Imaging* 2023; 39(2): 319-329. <https://doi.org/10.1007/s10554-022-02731-8>
27. Paolisso P, Gallinoro E, Mileva N, et al. Performance of non-invasive myocardial work to predict the first hospitalization for de novo heart failure with preserved ejection fraction. *ESC Heart Fail* 2022; 9(1): 373-384. <https://doi.org/10.1002/ehf2.13740>
28. Parlavocchio A, Vetta G, Caminiti R, et al. Which is the best Myocardial Work index for the prediction of coronary artery disease? A data meta-analysis. *Echocardiography* 2023; 40(3): 217-226. <https://doi.org/10.1111/echo.15537>
29. Wang W, Zhao H, Wan F, et al. Inhomogeneous Distribution of Regional Myocardial Work Efficiency Predicts Early Left Ventricular Remodeling After Acute Anterior Myocardial Infarction Treated With Primary Percutaneous Intervention. *Front Cardiovasc Med* 2022; 9: 922567. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.922567>
30. Sun S, Chen N, Sun Q, et al. Association Between Segmental Noninvasive Myocardial Work and Microvascular Perfusion in ST-Segment Elevation Myocardial Infarction: Implications for Left Ventricular Functional Recovery and Clinical Outcomes. *J Am Soc Echocardiogr* 2023. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2023.04.017>
31. Gao Y, Zhang Y, Tang Y, et al. Myocardial work and energy loss of left ventricle obtained by pressure-strain loop and vector flow mapping: a new perspective on idiopathic left bundle branch block. *Quant Imaging Med Surg* 2023; 13(1): 210-223. <https://doi.org/10.21037/qims-22-284>
32. Zhu M, Wang Y, Cheng Y, et al. The value of non-invasive myocardial work indices derived from left ventricular pressure-strain loops in predicting the response to cardiac resynchronization therapy. *Quant Imaging Med Surg* 2021; 11(4): 1406-1420. <https://doi.org/10.21037/qims-20-754>
33. Riolet C, Menet A, Mailliet A, et al. Clinical Significance of Global Wasted Work in Patients with Heart Failure Receiving Cardiac Resynchronization Therapy. *J Am Soc Echocardiogr* 2021; 34(9): 976-986. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2021.06.008>
34. Cui C, Liu L, Li Y, et al. Left Ventricular Pressure-Strain Loop-Based Quantitative Examination of the Global and Regional Myocardial Work of Patients with Dilated Cardiomyopathy. *Ultrasound Med Biol* 2020; 46(10): 2834-2845. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2020.06.008>
35. Cui C, Li Y, Liu Y, et al. Association Between Echocardiographic Non-invasive Myocardial Work Indices and Myocardial Fibrosis in Patients With Dilated Cardiomyopathy. *Front Cardiovasc Med* 2021; 8: 704251. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.704251>
36. Zhao Q, Cui C, Li Y, et al. Evaluation of myocardial work in patients with hypertrophic cardiomyopathy and hypertensive left ventricular hypertrophy based on non-invasive pressure-strain loops. *Front Cardiovasc Med* 2022; 9: 767875. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.767875>
37. Mihos CG, Horvath SA, Fernandez R, et al. Left ventricular strain and myocardial work in apical hypertrophic cardiomyopathy. *J Thorac Dis* 2023; 15(6): 3197-3207. <https://doi.org/10.21037/jtd-23-202>
38. Clemmensen TS, Eiskjaer H, Ladefoged B, et al. Prognostic implications of left ventricular myocardial work indices in cardiac amyloidosis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2021; 22(6): 695-704. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa097>
39. Racz G, Takacs H, Kormanyos A, et al. Screening for Myocardial Injury after Mild SARS-CoV-2 Infection with Advanced Transthoracic Echocardiography Modalities. *Diagnostics (Basel)* 2022; 12(8). <https://doi.org/10.3390/diagnostics12081941>
40. Zhan J, Van den Eynde J, Cordrey K, et al. Deterioration in myocardial work indices precedes changes in global longitudinal strain following anthracycline chemotherapy. *Int J Cardiol* 2022; 363: 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2022.06.067>
41. Butcher SC, Fortuni F, Montero-Cabezas JM, et al. Right ventricular myocardial work: proof-of-concept for non-invasive assessment of right ventricular function. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2021; 22(2): 142-152. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeaa261>
42. Tokodi M, Lakatos BK, Ruppert M, et al. Left Ventricular Pressure-Strain-Volume Loops for the Noninvasive Assessment of Volume Overload-Induced Myocardial Dysfunction. *JACC Cardiovasc Imaging* 2021; 14(9): 1868-1871. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.03.005>