

A szív és a villamosság (villamos szívhalál)

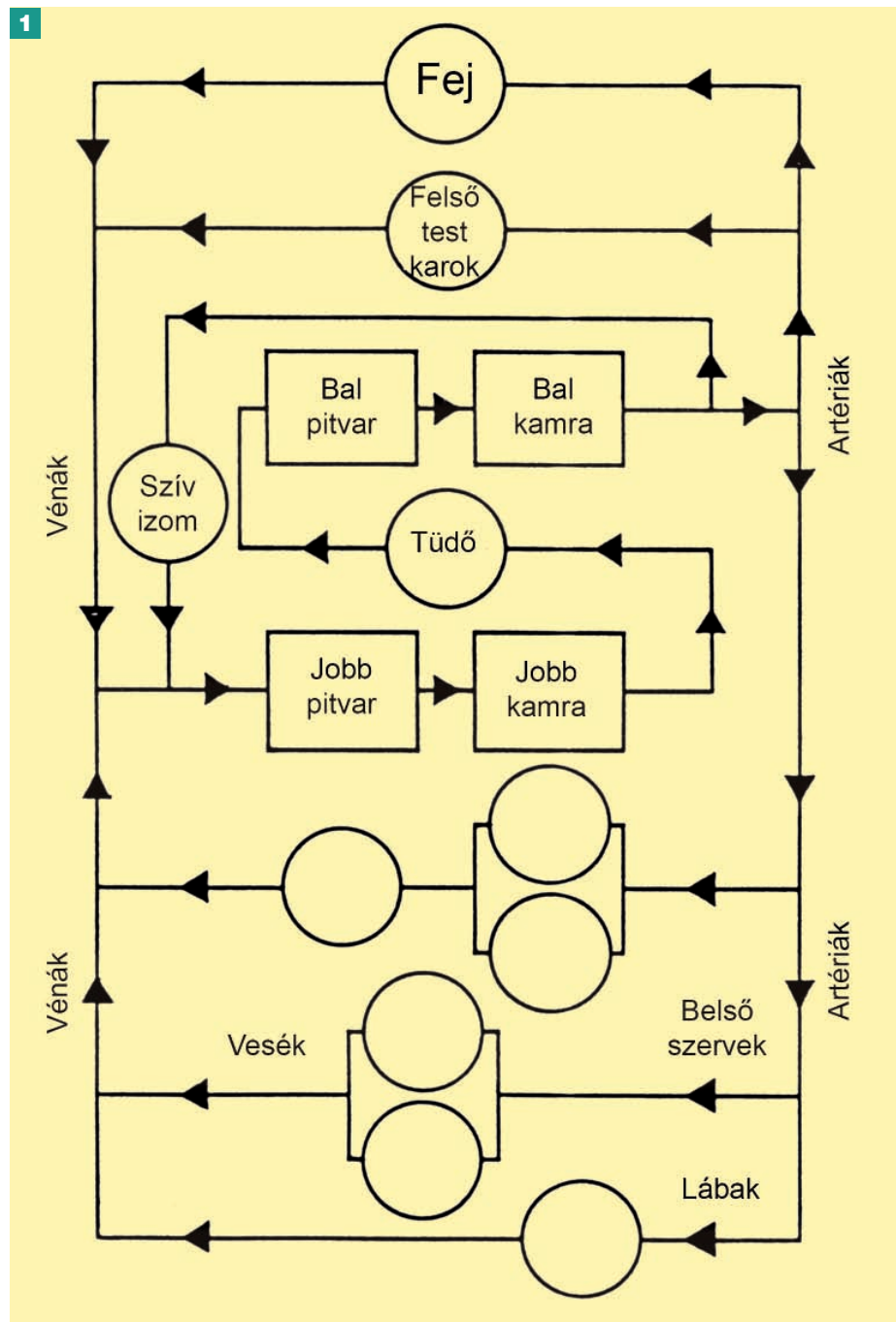
A sérüléssel járó villamos baleseteket átvizsgálva egyértelműen megállapítható, hogy azok halálos kimenetelű eseteit szívkamraremegés okozta.

A jelenség megértése szorosan összefügg az emberi szív működésének megértésével, és ebben az összefüggésben, ha nem is teljes mélységében, de lényegi körvonalaiiban ezzel meg kell ismerkedni. Ezért ismertetjük e cikkben nagy vonalakban mind a szív működését, mind a szív működésének villamos inger által kiváltott megzavarását, amelyet tömören „remegésnek” nevezünk.

A szív fő feladata az, hogy a vérkeringést az érrendszerben, a „véráramkörökben” fenntartsa. A legfontosabb véráramkörök működése az 1. ábra egyszerűsített „mérnöki” vázlat alapján, nyomon követhető.

A szív lényegében négy sorba kapcsolt üregből áll, amelyekben a vér a vénákból először a jobb pitvarba folyik, onnan a jobb szívkamrába, és aztán a tüdőbe. A tüdőből a vér oxigénnel dúsítva érkezik a szív jobb pitvarába vissza, majd a bal kamrán át az artériákon keresztül préselődik vissza ismét a testbe (2. ábra).

Normális esetben mind a négy szívüreg – percenként mintegy hetven szívveréssel – koordináltan dolgozik, amivel minden szívveréskor mindegyik szívkamra mintegy 70 ml vért pumpál tovább. A 3. ábra szematikusan ábrázolja a szívben lezajló mozgási folyamatot. Mindkét pitvar egyidejűleg összehúzódik, majd röviddel ezután mindkét szívkamra is összehúzódik. Az orvosok elnevezése szerint az összehúzódás neve: systole, míg az elernyedési fázis: diastole. A vér majdnem a teljes elernyedési idő alatt szabadon folyik a pitvaron át a kamrába, amíg az mintegy 70%-ig meg nem telik. Csak ekkor indul a pitvarok összehúzódása, és a vér maradék 30%-át a szívkamrába préselik. Az is figyelemre méltó, hogy a szív önálló ingerközponttal is rendelkezik, az ún. ütemadóval. Ez úgy működik, mint

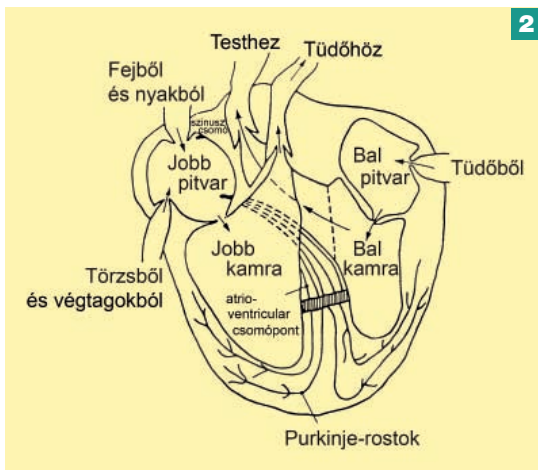


Véráramkörök egyszerűsített ábrázolása

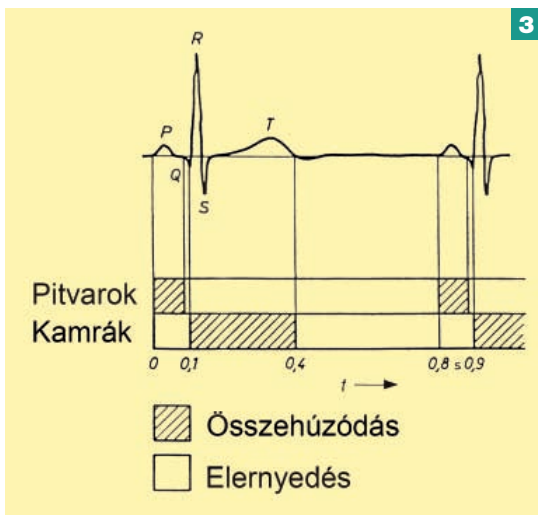
egy fűrészfog-generátor, és 0,75 s-onként egy ingerimpulzust küld a szívizomnak, amely összehúzódással reagál. Egészséges szív esetén a szinuszcsomó működik ütemadóként (3. ábra), azonban a szív működés olyan csodálatos berendezkedésű,

hogy a szinuszcsomó esetleges zavarakor – pl. sérülésekor –, ha szükséges, egy alárendelt ingerközpont az elsődleges ütemadó vezérlőfunkcióját átveszi.

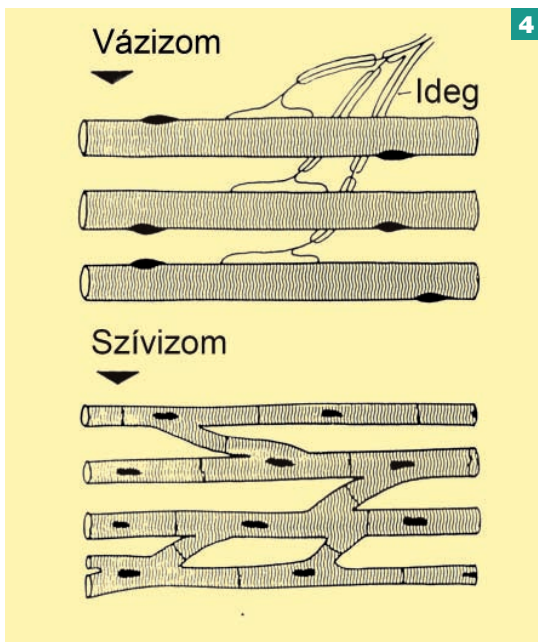
Eltávolíthatjuk egy állat szívét a testéből, és tovább ver anélkül, hogy kapcsolatban



Az emberi szív metszeti ábrázolása



Mozgásfolyamatok a szívben, a szívverés elektrokardiogram-felvétele



A vázizom és a szívizom mikroszkopikus felépítése

lenne az aggyal, ha táplálását alkalmas módon biztosítjuk. A vegetatív idegrendszert az agyműködés befolyásolja, azaz az ütemadó frekvenciáját befolyásolja, amivel a szív a külső körülményekhez alkalmazkodni képes. Az agyműködés által befolyásolt szív-működés tapasztalható például erő kifejtés-kor vagy izgalmi állapotban.

Kövessük a szívben az inger tovahaladását. A szívben az ingerhullám a szinusz-csomóból kiindulva először a pitvarokra terjed ki, majd kb. 0,2 másodperc alatt eléri a szívizomokat. További 0,2 másodperc idő alatt a szív összehúzódása befejeződik, és megindul az elernyedési fázis. A szívverés során az emberi testben villamos tér alakul ki, amely a bőrfelületen kéztől lábig nagyjából 1 mV potenciálkülönbséget jelent. Ezt a potenciálkülönbséget felerősítve és oszcilloszkópon megjelenítve kapjuk a jól ismert EKG (elektrokardiogram)-felvételt (3. ábra).

A 3. ábra alapján jól követhető, hogy a P-hullám alatt az inger terjedése keresztülhalad a pitvarokon. A PQ időintervallum alatt eléri az inger a szívkamrafalakat. A QRS időszak alatt rándulnak össze a kamrafalak, míg a T-görbe ideje alatt a kamrafalak izomcellái polarizációs potenciáljukat újra felépítik. Ez alatt az ún. polarizációváltási idő alatt a villamos ingerküszöb a szívizom ingerlésére körülbelül egy zenerfeszültséggel magasabb, mint az elernyedési fázisban, és ennek a körülménynek a következőkben leírt remegési küszöb alakulásában jelentősége lesz.

A szívremegés a szív periodikus, szinkronizált tevékenységének megszűnését jelenti, az egyes izomrészek koordinálatlanul húzódnak össze, és ezzel a vérkeringés összeomlik. Azaz villamos inger által kiváltott szívkamraremegés úgy jöhet létre – mint aminek megmagyarázására a következőkben kísérletet teszünk –, ha a szívizmot áramköri inger éri.

Miben rejlik az ingernek az az alapvető zavarhatása, amelynek következtében a pitvar-, illetve a kamraremegés jelensége fellép?

A jelenségért az ingerhullám terjedése a felelős, azaz a szívben lehetséges „köráramlása”, ismételt visszatérése! Egy ilyen abnormalitás fellépésének előfeltétele a szívizom struktúrájában rejlik. Ha összehasonlítjuk a vázizom és a szívizom mikroszkopikus felépítését (4. ábra), láthatjuk, hogy a vázizomzatban az ingerterjedés semmilyen zavara nem léphet fel. A vázizomzatban minden egyes izomköteg bizonyos fokig önálló. A szívizomnál

azonban az egyes izomcellák egymással hálózatba vannak kapcsolva. A vázizom minden egyes izomcellájába egy saját idegvégződés, „ingervezeték” fut. A szívizomban az inger az ingervezetési hálózatban celláról cellára terjed tovább, és a cellahatárokat említésre méltó késés nélkül ugorja át.

Miután a szívizomkötegek hurkolt hálózatot alkotnak, az ingerhullámok bizonyos útszakasz megtétele után visszajuthatnak kiindulási pontjukra és újra ingeret kelthetnek, majd ugyanarra, vagy egy hasonló útra ismételten beléphetnek, újraindulhatnak (5. ábra).

Természetesen normál szív-működés esetében ez nem fordulhat elő, miután az ütemadó kiinduló ingerhullámok, amikor az ingerület tovaterjedésekor találkoznak, éppen azonos ingerületet okoznak, éppen azonos ingerületet okoznak, éppen azonos ingerületet okoznak, éppen azonos ingerületet okoznak, éppen azonos ingerületet okoznak. Azaz ebben az első izgalmi fázisban az izgalmi állapotban lévő szívizomzatot semmi további inger nem éri. Ezt a fázist abszolút érzéketlenségi periódusnak nevezik. Ha összetalálunk két ingerfront egymással ebben az abszolút érzéketlenségi zónában, egyik sem tudja a másikat átugrani, és az ingerterjedés megszűnik. Ehhez az abszolút érzéketlenségi zónához egy relatív érzéketlenségi zóna csatlakozik, amelyet csökkentett ingerlékenységgel jellemezhetünk. Ez azt jelenti, hogy csak viszonylag erős inger válthat ki reakciót, ingerületet. Az érzéketlenségi zóna határán tízszer, húszszor nagyobb áramerősség szükséges egy hatékony inger eléréséhez, mint a teljesen nyugalmi állapotban. Azonban a relatív érzéketlenségi zóna mentén az ingerelhetőség folyamatosan csökken, mondhatjuk, hogy az ingerküszöb lecsökken.

Az ingerkeltésnek a relatív érzéketlenségi zónában más sajátossága is van, ezt azért kell megemlíteni, mert ez a kulcsa az újraindítás jelenség megértésének. Az az ingerülethullám, amelyet ebben a zónában váltanak ki, rövid csökkentett hosszúsággal bír, azaz annál rövidebb, minél közelebb keletkezik az abszolút érzéketlenségi zóna határához. Egy további különlegesség, hogy az ingervezetés egyirányú, azaz az ingerkeltés helyétől csak egyetlen irányban halad, még akár szemben is az eredeti előrehaladó ingerületi iránnyal.

Az ingerülethullám lerövidülése, valamint egyirányú tovahaladása épp azok a feltételek, amelyek az inger újraindulásához, a kiindulási helyen újra megjele-

néséhez szükségesek. Az inger ismételt fellépésének demonstrálására szolgáljon a 6. ábrán vázolt – ingert vezető hálózat részét képező – elágazás.

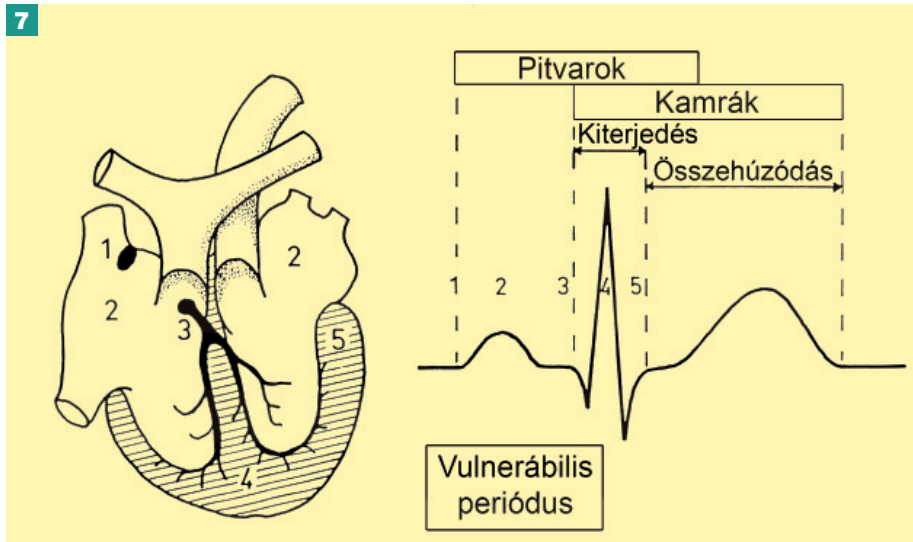
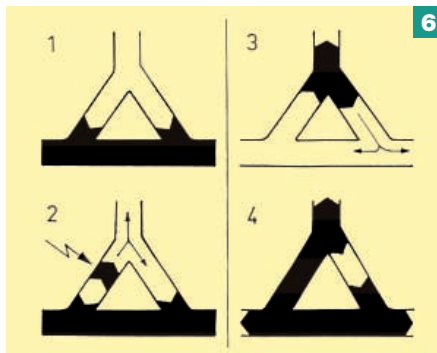
A 6-1. ábrán az ingervezetési pálya a tovahaladó ingerülethullám relatív érzéketlenségi zónájában van. A 6-2. ábrán, a nyílal jelölt helyen egy villamos inger váltson ki egy ingerületet. A 6-3. ábra az ingerület egyirányú tovaterjedését mutatja, és rövidebb hossza, valamint a pálya egyirányú

A szív relatív érzéketlenségi fázisában a villamos áramimpulzust követő újrainduló inger keletkezésének folyamata

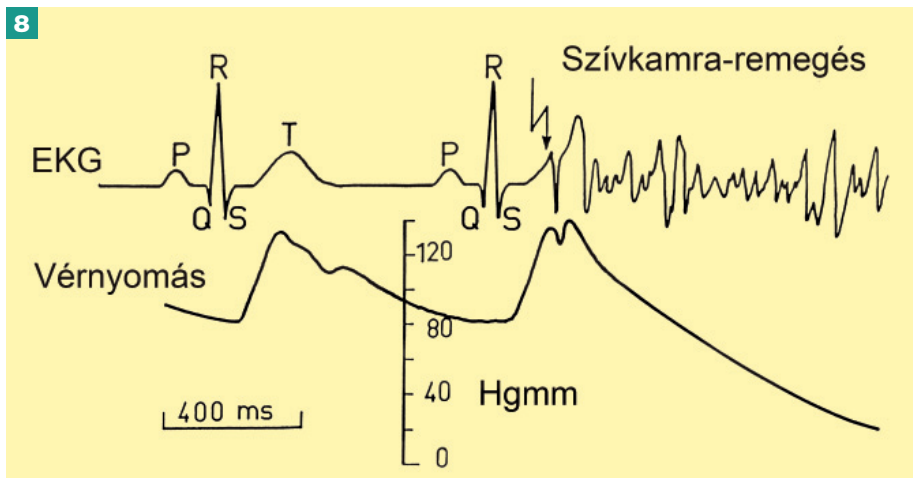
1. Az ingervezető pályák a relatív érzéketlenségi fázisban
2. A jelölt helyen fellépő villamos inger által kiváltott ingerület
3. Az ingerület egyirányú terjedése és rövid jelhossza miatt ugyanazon vezetési pályára visszatérése
4. Immár a zárt pályán körbekerülő inger



- Az ingerhullám újraindulásának lehetősége**
- A keltett ingerhullám rövidebb, mint az ingervezető útszakasz
 - az ingerületfront tovahaladása egyirányú



A szíven, ill. a szívkamra és a pitvar EKG-felvételén a „vulnerábilis periódus” időbeli lezajlása. A számok az ingerterjedés egymást követő szakaszait jelzik



Egy a vulnerábilis fázisban kiváltott szívkamraremegés EKG-felvétele és a vérnyomás alakulása

nyú vezetése lehetővé teszi, hogy ugyanabba az ingerfolyamba visszalépjen (hiszen nincs más irányból ideérkező inger), amelyben az eredeti ingerület haladt, és ezzel az ingerület újrainduljon. A 6-4. ábra már azt mutatja, hogyan kering az ingerület ugyanabban a zárt ingerületvezetési körben. Ez fiziológiailag mindaddig tarthat, ameddig a szívizom oxigénhiány következtében ki nem merül, és ezzel visszafordíthatatlan szívkárosodás fel nem lép.

Ahhoz tehát, hogy pitvarremegés vagy kamraremegés fellépjen, a megfelelő szív régióban egy elegendően erős ingernek az ingerület-visszahúzódnás fázisával kell találkoznia. Ebben a fázisban a szív némely régiója az abszolút, némelyik a relatív érzéketlenségi sávban van, tehát sok helyen teljesülnek a remegés kiváltásának feltételei. A szívet átjárják az ingervezetési rendszer rostjainak kötegei a szívizomtól a kamrák belső faláig.

Mindegyik önmagában zárt ingervezetési rendszer az adott esetben az „újraindulás” alapegysége, szubsztrátuma lehet. Ha relatív nagy pályákon futnak keresztül az újraindult ingerhullámok, az elágazásoknál egyre osztódnak, a körök sokszorozódnak, azaz állandóan nőnek az újraindulási körök, a remegés lassan terjed, és ez kiterjedt deszinkronizációhoz vezet, nagyfrekvenciás gyenge szívverésű remegés lép fel.

A szívnek azt a fázisát, amikor ebben a kritikus inhomogén állapotban van, „vulnerábilis periódusnak”, azaz „sebezhető periódusnak” nevezik, és mind a pitvarremegésnél, mind a kamraremegésnél fellép. A vulnerábilis periódus időbeli elhelyezkedését egyetlen szívverés jelében a 7. ábra mutatja.

A szívkamrák vulnerábilis periódusa az elektrokardiogramban a T-hullám kiemelkedésének felel meg, és kiterjedése a szívperiódus mintegy 10–20%-a.

Egy a vulnerábilis fázisban kiváltott szívkamraremegés EKG-felvételét és a vérnyomás alakulását mutatja a 8. ábra.

Összefoglalóan elmondható, hogy a vulnerábilis periódus a szívperiódus viszonylag rövid szakasza, amely során a szívizom inhomogén izgalmi állapotban található, és remegés lép fel, ha egy megfelelő erősségű áram ingert vált ki. Hogy a szívkamraremegés küszöbszintje a különböző áramnemek, áramutak esetében mekkora, és hogyan védekezhetünk a szívhalál ellen, arra a következő cikkben térünk ki.

Dr. Novothny Ferenc