

do drugog kraja mišića, taj se deo ponaša kao elektronegativan u odnosu na deo mišića koji je prvi bio podražen. Nastanak negativnog potencijala (akcioni potencijal) i njegovo širenje može se objasniti na isti način kao i kod nervnih ćelija.

Prenos signala sa živca na mišić odvija se preko motornih pločica, koje vrše ulogu neuromuskularne sinapse, povezujući nerv sa mišićem. Neuromuskularne sinapse usmeravaju impuls u fiziološkom smeru (od živca ka mišiću) i sprečavaju obrnut smer kretanja impulsa.

Kad živčani impuls stigne do motorne pločice, izaziva ispuštanje hemijskog jedinjenja acetilkolina iz posebnih tvorevina, što izaziva povećanje propustljivosti membrane mišićne ćelije za natrijumove jone i stvaranje akcionog potencijala u mišićnim ćelijama. Na taj se način akcioni potencijali iz živčanih ćelija prenose na mišićne ćelije izazivajući mehaničko reagovanje mišića kao reakciju na impuls kroz nervno vlakno.

2. ELEKTRIČNI UDAR

Električna energija može da izazove električni udar (elektriziranje, electrocutio) na dva načina:

- dejstvom tehničke električne struje,
- dejstvom struje usled atmosferskog pražnjenja.

Dejstvo tehničke električne struje na organizam zavisi od intenziteta struje koja protiče kroz organizam, odnosno napona između tačaka koje su premošćene ljudskim telom, od frekvencije struje i od vremenskog perioda za koji protiče struja.

Od frekvencije struje se bitno menjaju uticaji koje struja ima na ljudski organizam. Zbog toga će biti objašnjeni efekti pri proticanju jednosmerne struje, a zatim naizmjenične struje različitih frekvencija. Posebna pažnja biće posvećena uticaju struje industrijske frekvencije od 50 Hz.

2.1. Dejstvo jednosmerne struje

Proticanje jednosmerne struje kroz organizam izaziva kontrakcije mišića samo u trenutku uključanja i isključenja struje. To se može objasniti činjenicom da se podražavanje motornih živaca i mišića vrši kratkotrajnim strujnim impulsom (akcione struje), pa i svaki veštački izazvan strujni impuls izaziva iste efekte kao i prirodni. Iz tog razloga svaka promena električnog stanja izaziva ekscitaciju membrana živčanih i mišićnih ćelija i stvaranje impulsa. Na ovaj način oformljen impuls u motornim živ-

cima izaziva kontrakciju mišića. Isto tako do kontrakcije mišića dolazi usled električnog podraživanja samog mišićnog tkiva.

Ukoliko se električno stanje ne menja, već se uspostavio stalan potencijal između pojedinih tačaka, dolazi do intenzivne razmene jona i promene koncentracija jona u pojedinim tkivima.

Ukoliko je vrlo veliki intenzitet struje kroz tkivo, dolazi do oslobađanja toplote zbog "Džulovog efekta" i do zagrevanja tog tkiva. Ukoliko je strujni udar nastao proticanjem jednosmerne struje vrlo velikog intenziteta, usled razvijene toplote može doći do oštećenja pojedinih tkiva.

2.1.1. Oštećenja pojedinih tkiva i organa

Usled proticanja jednosmerne električne struje kroz organizam može da dođe do oštećenja svih tkiva i organa koji se nalaze na strujnom putu. Tako na primer dolazi do oštećenja krvnih žila, gde dolazi do kidanja elastičnih vlakana, degeneracije ćelija, pa sve do pucanja zidova krvnih sudova i njihovog nepovratnog oštećenja.

Slične nepovratne posledice mogu nastati i na svim drugim tkivima, što se naziva nekrozom tih tkiva (lokalna smrt tkiva). Usled termičkog oštećenja ćelije degenerišu i umiru. Iz tog razloga se stvaraju oblasti u kojima se prekidaju životne funkcije tkiva i ono propada.

Prilikom strujnog udara može doći do hemolize krvi. To je pojava razaranja crvenih krvnih zrnaca iz kojih izlazi hemoglobin.

Na plućima se javljaju promene u vidu nagomilane tekućine u alveolama i u tkivu pluća. Moguće stvaranje nekroza koje predstavljaju žarišta zapaljenskih procesa i dovode do zapaljenja pluća.

Na centralnom nervnom sistemu električna struja ostavlja posledice u vidu nagomilane tekućine (edem), sitnih krvavljenja i degenerativnih promena u ganglijskim ćelijama.

Ako se javilo oštećenje centralnog nervnog sistema, ono se manifestuje gubitkom svesti, grčevima, stanjem uzrujanosti i smetenosti, amnezijom. Ove promene na nervnom sistemu su obično povratne.

Jake struje pri prolazu kroz mozak mogu da izazovu nagli prekid rada vitalnih centara i smrt. Slične pojave se javljaju na kičmenoj moždini (krvavljenje, edem

propadanje gangliskih ćelija).

Periferni živci koje je zahvatila električna struja mogu da budu oštećeni u različitoj meri, od funkcionalnih smetnji, preko degeneracija do nekroze. U zavisnosti od toga koji je živac oštećen mogu se pojaviti paralize ili zone neosetljivosti.

Različita tkiva u organizmu pri proticanju struje pružaju različit otpor. Krvni sudovi, nervi i mišići imaju vrlo mali električni otpor, dok koža i kosti imaju veliki otpor. Zbog različitog električnog otpora može se na nekim mestima gustina struje jako povećati. Na primer, u okolini zglobova gustina struje raste jer je poprečni presek dobro provodnog tkiva daleko manji nego na drugim mestima. Zbog toga je moguće da dodje do vrlo izraženih termičkih efekata koji mogu dovesti do oštećenja, pa čak i do potpune nekroze tkiva na mestima gde se gustina struje povećava.

Do kontakta čovečjeg tela sa provodnikom pod naponom uvek dolazi preko kože. Koža je organ sa najvećim električnim otporom. Zbog toga se pri strujnom udaru javlja oštećenje kože u vidu opekotina.

U slučaju strujnog udara usled dejstva niskog napona, kada je dodirna površina izmedju kože i elektrode velika, na mestu prolaza struje se ne javlja nikakvo lokalno oštećenje kože.

U slučaju da je dodirna površina manja, struja veća, a otpor kože veliki (suva koža), dolazi do razvijanja toplote koja može da izazove termičke promene od opekotina I (prvog) stepena pa sve do potpunog ugljenisanja.

Na mestu strujnog udara na koži javlja se karakteristična promena na koži u obliku kratera sa uvučenim centrom i uzdignutih ivica, koja se naziva električni beleg. Ova promena na koži se sastoji od sasušenog tkiva. Povrede kože usled strujnog udara imaju tendenciju brzog zarašćivanja i obično ne dovode do nekih naknadnih komplikacija.

U slučaju da do strujnog udara dolazi usled preskoka električne iskre u mrežama visokih napona, termička oštećenja kože su vrlo izražena i prouzrokuju opekotine III (trećeg) i IV (četvrtog) stepena. Treba voditi računa da je temperatura električnog luka 3000°C i više, tako da njegovo termičko delovanje može da izazove teške posledice.

U slučaju strujnog udara visokim naponom opekotine nisu lokalizovane samo na koži, već zahvataju i dublje delove organizma, ponekad sve do kosti. Tkiva nekrotiziraju, sasuse se i ugljenišu se.

Na koži se mogu pojaviti isprekidana oštećenja koja nastaju u predelu žljezda znojnica. Ti delovi kože su bolji provodnici struje. Zbog toga se javljaju oštećenja koja su lokalizovana na onim delovima kože gde nema žljezda znojnica, a na onim mestima gde ih ima koža ostaje relativno pošteđena.

2.2. Naizmjenične struje

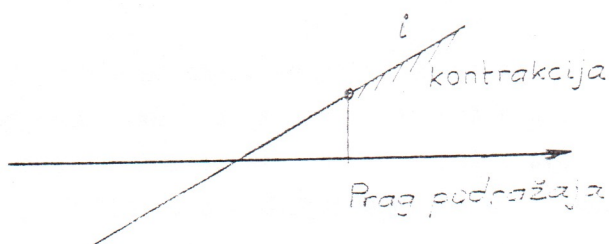
Naizmjenične struje mogu da izazovu potpuno ista termička oštećenja pojedinih organa i tkiva kao i jednosmerna struja.

Posebni efekti pri proticanju naizmjenične struje kroz organizam nastaju zbog pobudjivanja mišićnih i nervnih ćelija. Da bi se lakše objasnili efekti pri proticanju naizmjenične struje kroz organizam, prvo će biti objašnjeni efekti pri uspostavljanju i prekidanju jednosmerne struje.

Kada se jednosmerna struja koja prolazi kroz neki mišić naglo prekine, dolazi do delimične ili potpune kontrakcije tog mišića. U zavisnosti od polariteta struje to se pojava naziva u elektrofiziologiji katodnim ili anodnim otvorom električnog kola.

Ako se ponovo uspostavi jednosmerna struja kroz mišić, ponovo dolazi do kontrakcije, koja se u zavisnosti od polariteta naziva katodnim ili anodnim zatvorom električnog kola.

Slični efekti se mogu uočiti kada struja postepeno raste (sl.7)

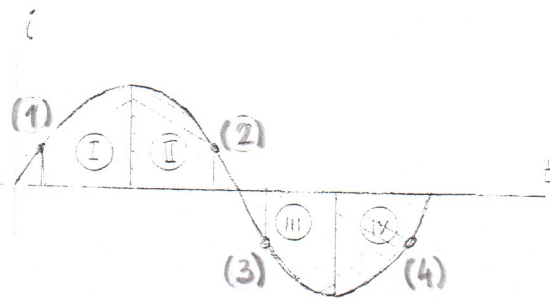


sl.7

Da bi došlo do kontrakcije mišića mora struja da pređe određeni prag podražaja ispod koga nije moguće izvršiti ekscitaciju ćelije.

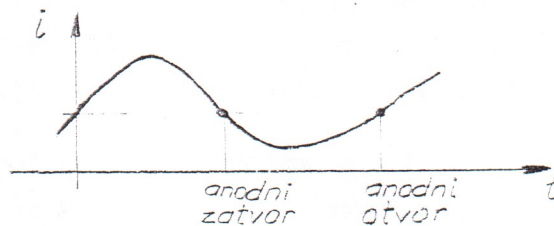
U slučaju prostoperiodične struje kružne učestanosti ω dolazi u jednoj periodu 2 puta do promene znaka struje. Iz tog razloga se u svakoj periodu javljaju 4 kontrakcije.

Celokupna perioda sinusne struje se može podeliti na četiri dela. U prvom delu dolazi do porasta struje i kontrakcija izazvana ovim porastom nastaje usled nadražaja anodnog zatvora prema usvojenom polaritetu (tačka 1 na sl.8). U drugom delu dolazi do opadanja struje do nule, pa se kontrakcija izazvana ovom promenom struje naziva kontrakcijom prouzrokovanom nadražajem usled anodnog otvora (tačka 2). Prag nadražaja anodnog otvora nastaje pre prolaska struje kroz nulu, odnosno još za vreme pozitivnog polariteta struje. Na potpunisti način pri uspostavljanju negativne struje (treći deo periode) dolazi do kontrakcije usled nadražaja zbog katodnog zatvora (tačka 3). U četvrtom delu periode dolazi do kontrakcije mišića usled nadražaja zbog katodnog otvora (tačka 4).



Sl. 8

Ako bi naizmenična struja bila superponirana sa jednosmernom koja nije suviše velike amplitude, kao na sl.10, u toku jedne periode mogu se pojaviti samo dve kontrakcije mišića koje odgovaraju anodnom zatvoru i anodnom otvoru.

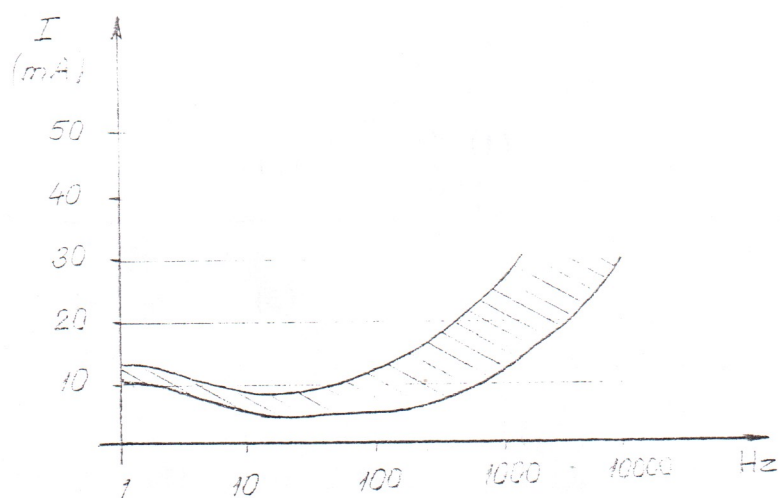


Sl. 9

Trajanje perioda nepodražljivosti je relativno kratko, a ukupno trajanje kontrakcije je oko 0,1 s. Zbog toga pri dejstvu naizmenične struje industrijske učestanosti (50 Hz) dolazi do stalne kontrakcije mišića usled stapanja pojedinačnih kontrakcija (tetanička kontrakcija). Mišić ne može da dodje u fazu relaksacije od predhodnog nadražaja do dolaska novog nadražaja koji izaziva kontrakciju koja se spaja sa predhodnom. U zavisnosti od toga kolika je učestanost struje i u zavisnosti od vreme potrebnog za kontrakciju pojedinih mišića razlikuju se potpuni i nepotpuni tetanus. P

tpuni tetanus se javlja kod mišića koji sporije kontrahuje pri nešto višim frekvencijama. Nepotpuni tetanus se javlja kod mišića sa bržim kontrakcijama pri nižim frekvencijama. Granice frekvencije iznad koje nastaje potpuni tetanus kreće se za različite mišiće od 20 Hz do nekoliko stotina Hz.

Iako se danas u industriji i domaćinstvu najčešće koristi napon čija je frekvencija 50 ili 60 Hz, interesantno je posmatrati osetljivost organizma na struje različitih frekvencija. Na sl.10 prikazan je dijagram koji pokazuje struju podražaja u funkciji frekvencije.



sl.10

Razni autori daju različite rezultate za vrednosti podražujućih struja kod različitih frekvencija, ali sve krive imaju sličnu tendenciju minimuma oko frekvencija 40-80 Hz. To znači da se električna energija koristi pri onoj frekvenciji koja je sa stanovišta dejstva na organizam najopasnija.

Ranije se smatralo da je razlog zbog čega struje viših učestanosti ne proizvode štetne efekte u organizmu površinski efekat. Smatralo se da zbog površinskog efekta struja se kreće po samoj površini tela zaobilazeći nerve, mišiće, nervne centre pa se zbog toga ni ne javljaju štetne posledice. Danas je ustanovljeno da nerv ne može zbog svog sopstvenog vremena podražljivosti da prati promene struje vrlo visoke frekvencije, pa se zbog toga ni ne javljaju nikakve štetne posledice karakteristične za dejstvo struja nižih učestanosti.

Vrlo niske frekvencije izazivaju samo delimične kontrakcije mišića, što takodje povećava podnosivost organizma.

U osenčenoj površini na sl.10 nalaze se rezultati različitih autora.

Kriva daje kvalitetne rezultate zbog relativno širokog dijapazona naspavanja rezultata merenja.

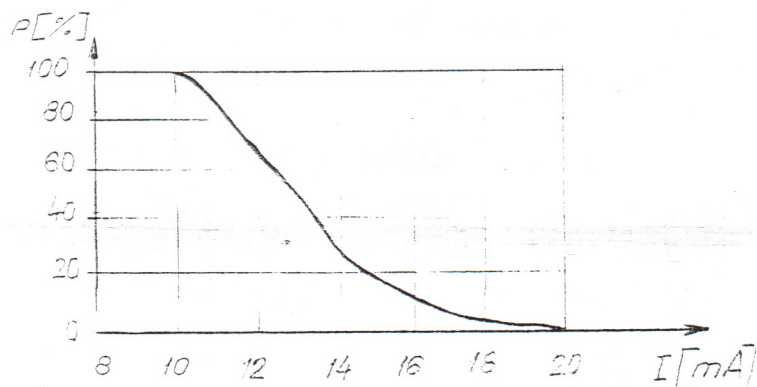
Ako je do strujnog udara naizmeničnom strujom industrijske učestanosti došlo zbog hvatanja rukom provodnika koji je pod naponom, ako je intenzitet struje dovoljno veliki može doći do tetaničke kontrakcije mišića šake. Zbog toga povredjeni ne može samostalno da se oslobodi elektrode, već je potrebna intervencija sa strane pri oslobadjanju povredjenog od elektrode. Tom prilikom treba biti posebno opreziv da ne dodje do strujnog udara i spasioca. Zbog toga je najbolje kada je to moguće da se prvi korak sastoji u isključenju napona, a tek onda treba prići povredjenom. Ukoliko je nepristupačan prekidač za isključenje napona, treba pomoću izolovanih priručnih materijala pokušati sa oslobadjanjem povredjenog.

Veoma važan podatak predstavlja maksimalna odpuštajuća struja. To je najveća vrednost struje koja protiče kroz organizam pri kojoj se čovek može uvek samostalno osloboditi elektrode pri frekvenciji struje od 50 Hz.

Drugi važan podatak je minimalna neodpuštajuća struja. To je najmanja vrednost struje pri kojoj se čovek ne može osloboditi samostalno od elektrode.

Odpuštajuća, odnosno neodpuštajuća struja zavise od stanja organizma, od pola i od različitih individualnih faktora. Pošto su ove veličine slučajne i razlikuju se kako do čoveka do čoveka, tako i od okolnosti pod kojima dolazi do strujnog udara. Zbog toga često kao podatak o vrednosti ovih struja ne daju maksimalna odpuštajuća i minimalna neodpuštajuća struja, već kumulativna kriva verovatnoće odpuštajuće ili neodpuštajuće struje.

Na sl.11 prikazana je kumulativna kriva verovatnoće odpuštajuće struje za muškarce.



sl. 11

Može se smatrati da je srednja vrednost odpuštajuće struje za muškarce oko 15 mA, a 11 mA za žene.

Eksperimentalno određivanje odpuštajuće struje vrši se na taj način što se u levu ruku stavlja elektroda određenih dimenzija, dok se desna ruka ili obe noge stavljaju na bakarne pločaste elektrode. Kod eksperimentalnog istraživanja uticaja struje na čoveka veoma je važno da eksperimenti budu uradjeni pod identičnim okolnostima.

Ponekad kontrakcije skeletnih mišića mogu da budu takvog smera da odbace povredjenog od elektrode. To je slučaj kada nije došlo do obuhvatanja elektrode šakom već samo do dodira elektrode nekim delom tela. U tom slučaju posledice strujnog udara su daleko lakše nego ako dodje do dugotrajnijeg proticanja struje zbog kontrakcije šake oko elektrode.

Pored toga što izaziva kontrakcije skeletnih mišića, naizmenična struja izaziva smetnje, oštećenja ili potpuni zastoj u radu srca. Upravo to predstavlja najopasniju posledicu strujnog udara. Zbog velikog značaja uticaja strujnog udara na rad srca posebno će biti opisano dejstvo struje na srčani mišić.

2.3. Uticaj strujnog udara na rad srca

Srce se šematski može podeliti na desnu vensku i levu arterijsku polovinu. Svaka polovina ima predkomoru (atrij) i komoru (ventrikul). Leva polovina srca ("levo srce") podeljeno je od desne polovine srca ("desno srce") pregradnim zidom. Između predkomore i komore nalaze se otvori (atrioventrikularno ušće). Da bi se uvek obezbedio pravilan smer kretanja krvi u pojedinim fazama srčanog rada, između predkomora i komora se nalaze srčani zalisci koji potpuno zatvaraju prolaz krvi iz komore u predkomoru u jednoj fazi srčanog rada, dok u drugoj fazi propuštaju krv iz predkomore u komoru. Na taj način je sprečen povratak krvi iz komore u predkomoru.

Iz istog razloga, da bi se sprečio povratak krvi iz arterija u komoru postoje zalisci kod svakog arterijskog ušća.

Svi krvni sudovi koji izlaze iz srca, bez obzira da li u sebi sadrže vensku ili arterijsku krv nazivaju se arterijama, a krvni sudovi koji dovode krv u srce venama.

Arterijska krv koja je u plućima obogaćena kiseonikom putem četiri plućne vene dolazi iz pluća u levu predkomoru, a odatle kroz mitralno ušće (prolaz između leve predkomore i komore) prelazi u levu komoru. Zatim iz leve komore kroz

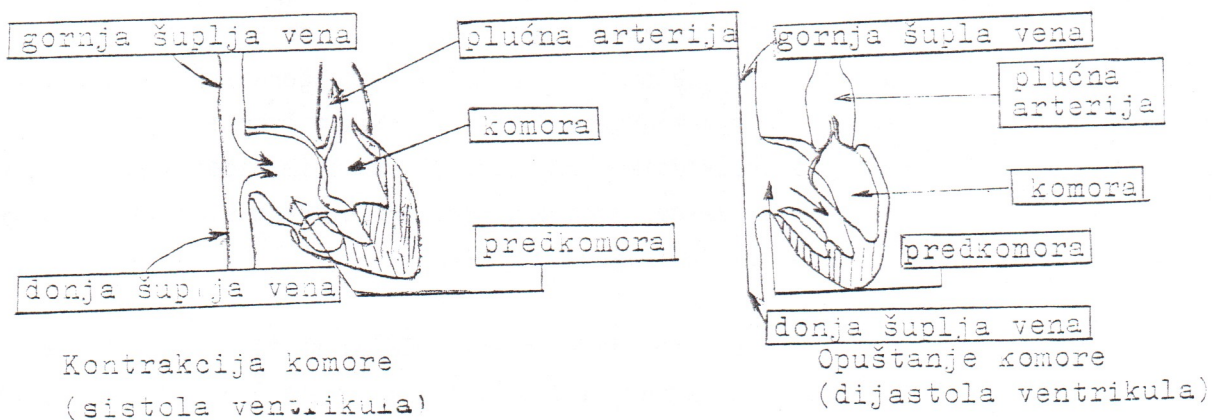
levo arterijsko ušće prolazi u aortu, odakle krv odlazi po celom organizmu. Kontrakcije leve komore daju potisak krvi za kretanje po ljudskom telu. (veliki optok krvi)

U desnu predkomoru ulazi venska krv iz celog organizma putem gornje i donje šuplje vene. Iz desne predkomore venska krv odlazi u desnu komoru, iz koje pod uticajem snažne kontrakcije krv odlazi kroz plućnu arteriju do pluća, gde se obogaćuje kiseonikom i pretvara u arterijsku krv. Pod malim optokom krvi se podrazumeva krug koji čini krv cirkulišući kroz plućnu arteriju do pluća i vraćajući se do leve predkomore kroz 4 plućne vene.

Srčani mišić se sastoji iz posebno gradjene poprečne prugaste muskulature. Srčana muskulatura je posebno jako razvijena u predelu leve komore.

Na ulazu u predkomore nalaze se tvorevine koje sprečavaju povratak krvi u vene pri kontrakciji predkomore.

Ishrana srca se odvija preko posebnih krvnih sudova. Srce snabdevaju dve koronarne arterije, a vensku krv skuplja vena sinus koronarijus, koja se završava u desnoj predkomori. Srčani mišić je veoma bogat krvnim sudovima, jer je zbog neprekidnog rada srca potrebno stalno i dovoljno snabdevanje srčanog mišića krvlju. Na slici 12 prikazan je šematski rad "desnog srca". Na sličan način se odvija rad "levog srca"



sl. 12

Najosnovnije faze srčanog rada su sledeće:

- a) kontrakcija predkomore (sistola atrija),
- b) kontrakcije komore (sistola ventrikula),
- c) relaksacija komore (dijastola ventrikula).

Smatra se da je prosečna frekvencija rada srca 70 otkucaja u minuti. Srčanim radom diriguju dva antagonistička dela autonomnog nervnog sistema

i to:

- simpatikus koji ubrzava rad srca,
- parasimpatikus koji usporava rad srca.

Simpatične živčane niti dolaze iz vratnih simpatičkih ganglija, gde se nalazi centar za simpatičko delovanje na rad srca.

Parasimpatičke živčane niti dolaze iz ganglija u srčanom živčanom sistemu. Simpatičke i parasimpatičke živčane niti spojene su sa srčanom muskulaturom.

Danas još nije potpuno razjašnjen mehanizam nastanka impulsa koji izaziva ritmičke kontrakcije srčanog mišića. Poznato je da kontrakcije prvo nastaju na jednom mestu, a zatim se talasasto šire obuhvatajući celo srce.

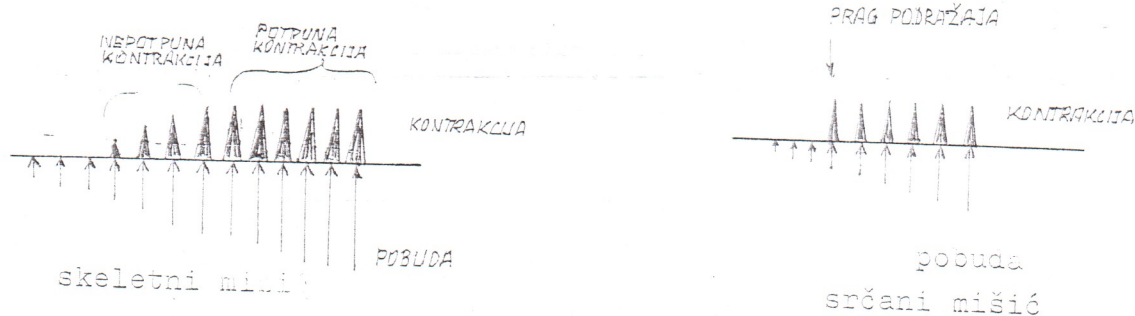
Interesantno je uočiti da se u samom srcu nalaze aktivni centri automatizacije srčanog rada. Takvih centara ima više, ali je samo jedan koji normalno diktira srčani ritam. Ukoliko je jedan centar onemogućen u svom radu, drugi centar preuzima njegovu ulogu. Do stvaranja impulsa prema današnjem shvatanju dolazi u živčanim strukturama u samom srcu, a zatim se ti impulsi sprovode živčanim vlaknima i šire po mišićnim vlaknima srca izazivajući kontrakcije.

Smatra se da je uzrok nastajanja impulsa ritmička promena propustljivosti membrane za natrijum u nervnim centrima za automatizaciju srčanog rada. Normalno ovu funkciju obavlja centar u blizini ulaza gornje šuplje vene u desnu predkomoru. Ovaj centar se zove sinusnim ili sinoatriskim čvorom. U normalnom radu sinusni čvor se ponaša kao predvodnik upravljajući ritmičkim radom srca. Zbog velike brzine provođenja impulsa svi delovi komore kontrahiraju skoro sinhrono, čime se postiže velika efikasnost u pumpanju krvi.

Eksitacija membrane srčanog mišića koja nastaje u sinusnom čvoru traje 0,15 s, u predkomorama 0,2 s, a u komorama 0,3 s. Podražaj se širi od sinusnog čvora ravnomerno. Zahvaljujući izvesnom kašnjenju impulsa javlja se vremenski interval između trenutka pobudjivanja predkomore i komore koji iznosi od 0,12 do 0,20 s. Ovo kašnjenje je veoma važno jer omogućava da se prvo kontrakcijom predkomore komora napuni krvlju, da bi se kontrakcijom komore krv pumpala. Zbog toga se efikasnost rada srca povećava.

Podražavanje srca se može vršiti veštački preko električnih impulsa, na potpuno isti način kao i kod skeletnih mišića.

Kod podražavanja skeletnih mišića za ceo mišić važi zakon "sve ili ništa". To znači da ako se podražavanje vrši sa suviše slabim impulsom ne dolazi do kontrakcije mišića. Ako se intenzitet impulsa poveća iznad praga podražaja, dolazi do potpune kontrakcije mišićnog vlakna. Ova osobina je važila pojedinačno za pojedina mišićna vlakna kod skeletnih mišića, ali nije važila za skeletni mišić u celini. Kod srca je ova osobina izražena na celokupnom srčanom mišiću. (videti sl.13).



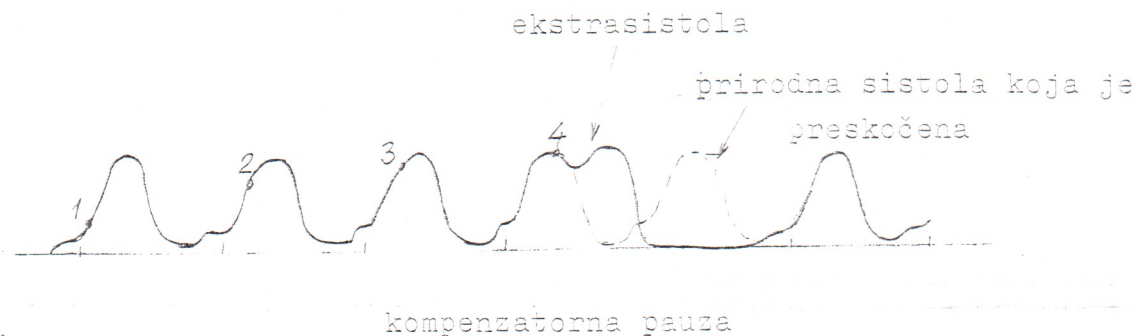
Sl. 13

Neko vreme nakon podražaja koji je ekscitirao mišić, on je neosetljiv (rekarakteran) na nov podražaj. Refrakterno vreme se jako razlikuje kod srčanog mišića i refrakternog vremena kod skeletnih mišića. Dok je refrakterno vreme kod skeletnih mišića oko 0,01 s, kod srčanog mišića ovo vreme je jednako trajanju kontrakcije. Podražavanje srčanog mišića za vreme sistole ostaje bez efekta, ma koliko jak bio podražaj. Ovo je vrlo važna osobina srčanog mišića zbog koje se može dogoditi da vrlo jaki strujni udari koji traju vrlo kratko ne ostave nikakvu posledicu dok daleko slabiji strujni udar koji traje duže vremena tako da obuhvata više faza rada srca može da dovede do poremećaja rada srca.

Ukoliko spolja doveden strujni impuls dodje za vreme dijastole, izazvaće sistolu pre nego što bi ona nastala prema normalnom srčanom ritmu. Ovakva kontrakcija se naziva ekstrasistolom. Nakon ekstrasistole nastaje period duži od intervala između dve normalne sistole, koji se naziva kompenzatorna pauza. Nastajanje ove pauze se tumači na sledeći način. Spontani impulsi iz centra za automatizaciju rada srca dolaze uvek u istim intervalima. Kad se veštački izazove ekstrasistola, spontani impuls koji nailazi da prirodno pobudi komoru na sistolu zateže srčani mišić u kontrakciji. Zbog osobine refrakternosti tek sledeći prirodni impuls iz centra automatizacije će izazvati prirodnu kontrakciju. Ova kontrakcija počinje u isto vreme kao da ekstrasistole nije ni bilo.

Na sl.14 šematski su pokazani električni potencijali u srčanom mišiću, a sa tačkama 1, 2, 3 i 4 označeni su trenutci delovanja spoljašnjeg impulsa. Period

usponskog dela prirodnog električnog impulsa predstavlja vreme podražavanja kada se dogadja kontrakcija.



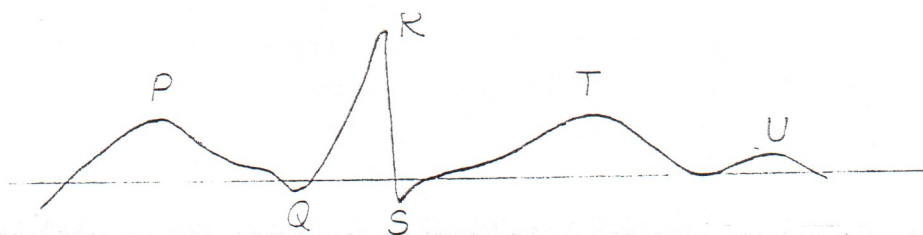
Sl.14

Na osnovu gornjeg tumačenja mehanizma rada srca,može se zaključiti da se celokupni rad srca zasniva na periodičnoj pojavi akcionih potencijala koji izazivaju ritmičke kontrakcije srčanog mišića. Spoljašnje električno podraživanje može da poremeti prirodne bioelektrične pojave efekte na srcu.

Pomoću elektrokardiografa moguće je snimati električne impulse nastale u srcu. Na taj način se može veoma jednostavno proučavati srčani rad direktnim kvantitativnim merenjem bioelektričnih pojava.

Elektrokardiograf predstavlja osetljivi galvanometar sa ogledalcem koje baca svetlosni snop na fotoosetljivi papir. Električni impulsi se uzimaju sa površine tela pomoću elektroda i vode se u pojačavač, a zatim u galvanometar.

Tipičan kardiogram čovečjeg srca prikazan je na sl.15.



sl.15

U jednom ciklusu se razlikuje 6 vrhova, i to:

- P - podražaj predkomore
- QRS - podražaj komore
- ST - prelaz iz podraženog u nepodraženo stanje komore

- QT - vreme sistole komore
- T - repolarizacija komore
- U - početak dijastole komore

Kod normalnog rada srca potpuno je tačno određeno trajanje pojedinih faza rada srca, kao i amplituda pojedinih impulsa u kardiogramu.

Prilikom kratkotrajnog strujnog udara za vreme perioda talasa obeleženog slovom T (repolarizacija komore) može se pojaviti veoma opasno stanje srca koje se naziva fibrilacijom srca ili fibrilacijom komore (ventrikularna fibrilacija). Ova pojava predstavlja spontano treperenje zidova komore srca koje je lišeno svake ritmičnosti.

Eksperimentalno je pokazano da do fibrilacije bilo kog mišića može doći u slučaju kada se taj mišić denervira (odnosno kada se ukloni živac koji vodi u mišić). U tom slučaju u mišiću posle izvesnog vremena počinju da se javljaju aritmičke kontrakcije pojedinih niti poprečno-prugaste muskulature. Ponekad dolazi do takvih kontrakcija čitavih snopova mišićnih niti.

Ventrikularna fibrilacija predstavlja nepovratnu promenu u radu srca koja izaziva smrt povredjenog. Zbog toga se poseban značaj pridaje određivanju vrednosti struja koje mogu da izazovu fibrilaciju, kao i zavisnost između vrednosti struje koja može da izazove fibrilaciju i njenog trajanja.

Opasnost od fibrilacije postoji ne samo kada je vreme trajanja proticanja struje veće ili jednako jednoj periodu srčanog rada, već i kada je trajanje struje znatno kraće. U slučaju kada je trajanje struje kraće, verovatnoća da će se strujni udar odigrati u periodu T talasa (period repolarizacije komore) je manja, pa je i verovatnoća fatalnog ishoda manja.

Smatra se da je trajanje T talasa oko $1/25$ do $1/30$ od ukupnog trajanja srčanog ciklusa, a po nekim autorima čak i $1/60$ od ukupnog trajanja ciklusa. Obeležimo dužinu trajanja ovog perioda sa d_1 . Ostali period srčanog rada koji nije opasan sa novišta ventrikularne fibrilacije obeležen je sa d_2 . Neka je trajanje strujnog udara $d_3 \leq d_2$. Verovatnoća da će doći do ventrikularne fibrilacije u određenom opsegu ne zavisi od intenziteta i vrste struje, već samo od trenutka delovanja struje kod kratkotrajnog impulsa.

Ova se verovatnoća može odrediti kao geometrijska verovatnoća prema sl.15.

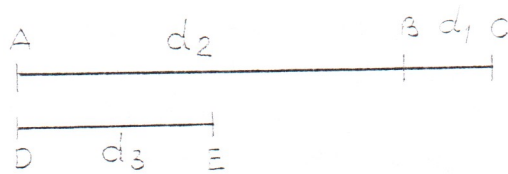
Na sl.16 prikazani su pojedinih dužima vremenski periodi d_1 , d_2 i d_3 .

Verovatnoća da će strujni udar izazvati fibrilaciju srca jednaka je verovatnoći da slučajnim postavljanjem duži DE na duž AC deo duži DE prekrivi duž BC prema sl.16.

Verovatnoća da duž DE neće prekrivi duž BC, odnosno da će prekrivi samo deo duži AB može se odrediti kao odnos nepokrivene dužine AB sa ukupnom dužinom duži AC, odnosno:

$$P(AB) = \frac{d_2 - d_3}{d_1 + d_2}$$

gde je: $P(AB)$ verovatnoća da će duž DE prekrivi samo deo duži AB.



sl.16

Zaista, ako $d_3 \rightarrow 0$, tada se dobija da je verovatnoća da će tačka pasti na duž d_2 srazmerna dužini te duži. Ako je $d_2 = d_3$, tada se dobija da je verovatnoća $P(AB)=0$, jer jedino u slučaju da se tačke A i D, odnosno B i E poklope, duž DE neće prekrivi deo duži BC, što je graničan slučaj.

Za $d_3 > d_2$ uvek će doći do prekrivanja duži BC, što znači da je verovatnoća da neće doći do fibrilacije jednaka nuli.

Verovatnoća da će doći do fibrilacije srca je:

$$P(BC) = 1 - \frac{d_2 - d_3}{d_1 + d_2} = \frac{d_1 + d_3}{d_1 + d_2}$$

Ako se zamene vrednosti za najduže trajanje opasnog perioda od $d_1 = (d_1 + d_2)/25$, dobija se:

$$P(BC) = \frac{(d_1 + d_2)/25 + d_3}{d_1 + d_2}$$

Znajući da je prosečna frekvencija rada srca 70 otkucaja u minuti, može se odrediti trajanje jednog srčanog ciklusa, koje u tom slučaju iznosi $d_1 + d_2 = 0,86$ s.

Ako se zameni vrednost za prosečno trajanje srčanog ciklusa, može se odrediti verovatnoća $P(BC)$ na sledeći način:

$$P(BC) = \frac{0,0344 + d_2}{0,86}$$

gde je: d_3 dužina trajanja strujnog udara izražena u sekundama.

P R I M E R:

Ako je trajanje strujnog udara $d_3 = 0,1$ s, dobija se da je verovatnoća nastanka ventrikularne fibrilacije:

$$P(BC) = 0,1563$$

To znači da je verovatnoća da će doći do fibrilacije srca pri trajanju strujnog udara 0,1 s samo 0,1563 bez obzira na intenzitet struje, jedino treba da bude struja veća od granične struje koja izaziva fibrilaciju. Od ukupno $N=1/P(AB)$ strujnih udara samo jedan će izazvati fibrilaciju. U konkretnom primeru od ukupno $N=6,4$ strujna udara jedan će izazvati fibrilaciju srca.

Ukoliko je strujni udar malog intenziteta i kratkotrajan, a pada u periodu T talasa, dolazi samo do pojave jedne ekstrasistole. Ako se intenzitet struje povećava od trenutka kada struja predje granicu fibrilacije dolazi do nepovratne ventrikularne fibrilacije koja izaziva smrt.

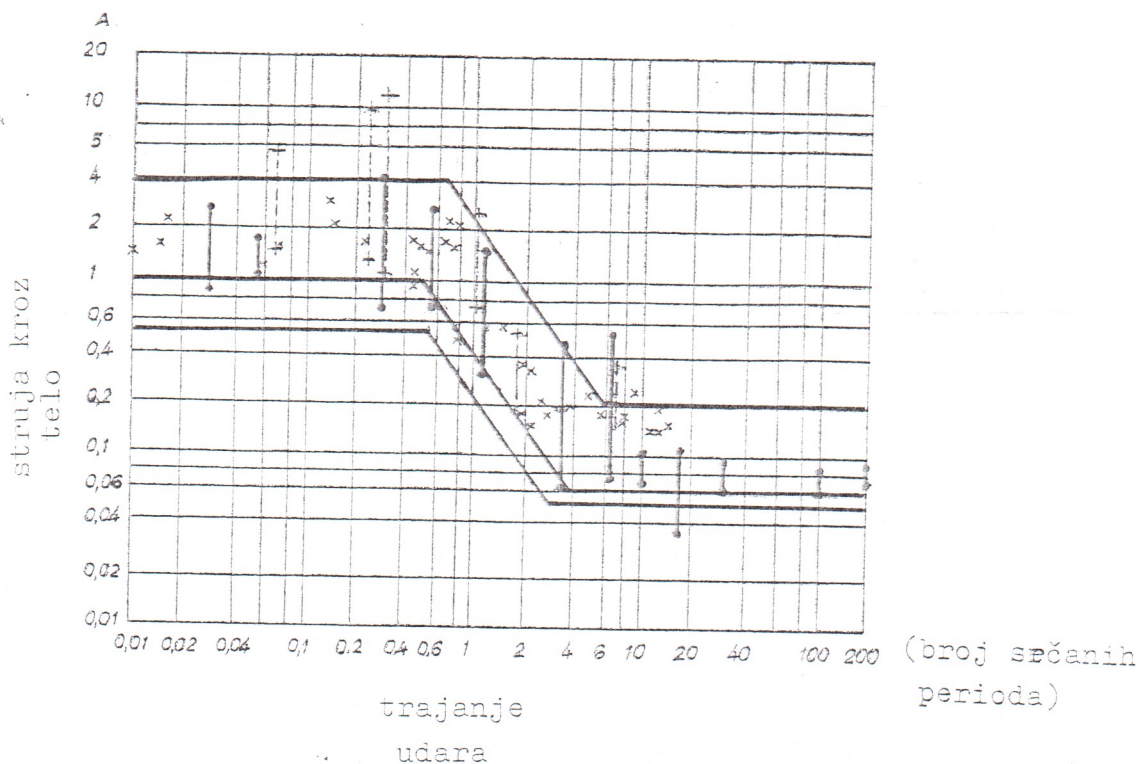
Neki autori tvrde da se u nekim slučajevima srce može spontano vratiti iz ventrikularne fibrilacije u normalan rad, ali u svakom slučaju to se retko događa i može se smatrati da je ventrikularna fibrilacija pojava koja opasno ugrožava ljudski život.

Veoma važan podatak predstavlja zavisnot minimalne struje koja izaziva fibrilaciju u funkciji vremena. Na osnovu tog podatka moguće je uticati na vreme isključenja kvara koji može da izazove povišene potencijale u postrojenjima, tako da se uticajem na dužinu kvara smanjuje opasnost po ljudstvo.

Rezultati merenja različitih autora dosta se dobro slažu u pogledu ove funkcije. Minimalna fibrilaciona struja u funkciji broja srčanih perioda prikazana je na sl.17. prema američkom autoru Konwenhoven-u.

Sa sl.17 se može uočiti da do vremena od oko 0,6 T (gde je T trajanje srčane periode) podnosivost organizma je relativno velika. Za trajanje strujnog udara iznad 0,6 T podnosivost organizma se jako smanjuje, da bi se posle 6 srčanih perioda ustalila na relativno niskoj vrednosti struje koja iznosi oko 50 mA. U kratkom vremenskom intervalu mogu poteći relativno velike struje, preko 500 mA bez posledica. Ako

struja protiče duže vremena, struja od 50 mA može da bude opasna, odnosno može da izazove fibrilaciju.



sl. 17

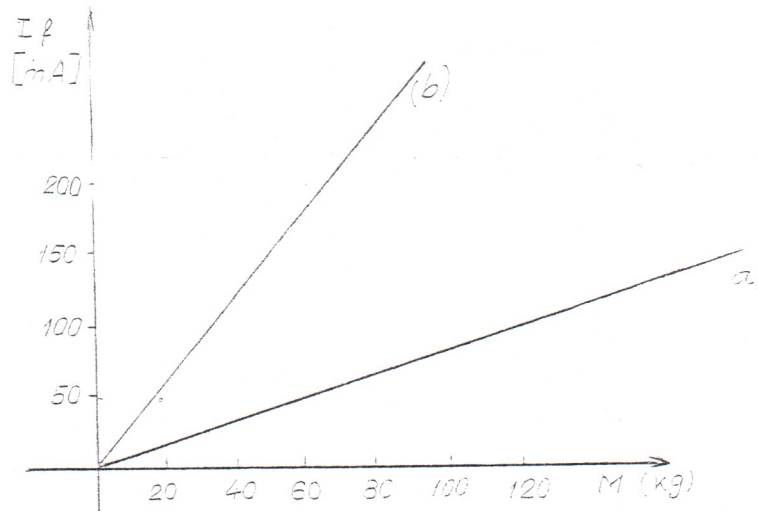
Pošto se osetljivost na strujni udar menja u zavisnosti od konstitucije, pola, psihičkog stanja i drugih činilaca, na sl.17 dati su okvirni rezultati sa vrednostima pojedinih merenja koja su označena tačkama. Vidi se da pojedini rezultati izlaze iz okvirnih vrednosti, što znači da sve ove rezultate treba shvatiti kao orijentacione zbog mogućnosti rasipanja vrednosti struja koje izazivaju fibrilaciju.

Pojava zavisnosti granične fibrilacione struje od vremena propuštanja struje kroz organizam posledica je:

- osobine refrakternosti srčanog mišića,
- pojave sumacije smetnji (smetnja u jednom periodu srčanog ciklusa nije dovoljna da izazove gubitak automatske kontrole rada srčanog mišića, ali ponovljene smetnje u nekoliko srčanih perioda sigurno izazivaju ventrikularnu fibrilaciju.

Ekperimenti pomoću kojih se određuje prag fibrilacione struje vrše se na različitim životinjama, na kojima se nakon eksperimenta vrši defibrilacija primenom hemijskih sredstava ili primenom električnih stimulatora srca. Iako je veoma teško ekstrapolirati rezultate eksperimenata na životinjama na ljudski organizam, može

se uočiti sledeća zakonitost između telesne težine i minimalnog praga fibrilacione struje i srednjeg praga fibrilacione struje (sl.18).



sl. 18

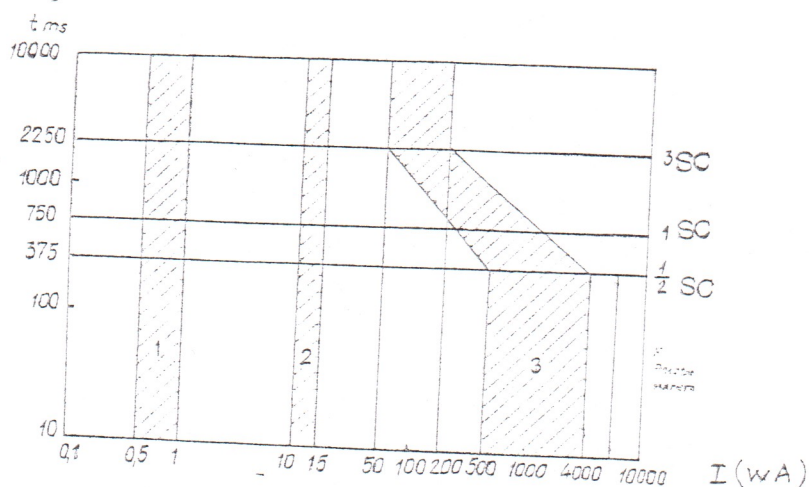
- a) minimalni prag fibrilacione struje,
- b) srednja vrednost praga fibrilacione struje.

Zapaženo je da psihičko stanje povredjenog od električne struje može da ima veoma veliki uticaj strujnog udara kod ljudi. Uočeno je da ukoliko je strujni udar neočekivan, izaziva daleko teže posledice nego u slučaju kada se čovek svesno izlaže strujnom udaru. Čak su zabeleženi slučajevi strujnih udara sa fatalnim ishodom kod kojih je kasnije ustanovljeno da je žrtva bila pod niskim naponom od 25V, a da je do zastoja srca došlo usled psihičkog šoka, a ne usled ventrikularne fibrilacije.

Zbog toga krive minimalnih fibrilacionih struja treba shvatati samo kao orijentacione zbog niza faktora koji mogu da izazovu znatna odstupanja od izmerenih krivih.

Može se smatrati da proticanje struje kroz srce remeti procese u vlaknima kojima se prenose normalni električni nadražaji, odnosno akcioni potencijali.

Na sl.19 prikazani su odnosi između praga osetljivosti, praga kontrakcije i praga fibrilacije.



1. 19

Oblast 1 predstavlja prag osetljivosti ispod koga se uopšte ne oseća dejstvo struje.

Oblast 2 predstavlja prag kontrakcije, kada se javlja nevoljna kontrakcija muskulature usled strujnog nadražaja.

Oblast 3 predstavlja prag fibrilacione struje, iznad koje uvek dolazi do fibrilacije srca.

Na sl.19 na apcisnu osu nanosi se struja koja protiče kroz organizam, a na ordinatnu osu nanosi se vreme delovanja struje. Na levoj strani dijagrama vreme je izraženo u ms, a na desnoj strani u delovima srčanog ciklusa (SC).

Može se uočiti da struja koja predstavlja prag osetljivosti ne zavisi od vremena proticanja. Isto važi i za struju koja predstavlja prag kontrakcije. Medjutim, prag fibrilacione struje se smanjuje u opsegu od 0,5(SC) do 3(SC), kao što je to ranije objašnjeno.

Pošto ni jedna od gornjih veličina nije deterministička, već su slučajne veličine, dati su opsezi u kojima se te veličine kreću, ne ulazeći u njihovu statističku raspodelu.

Mora se naglasiti da jednosmerne struje od 80-300 mA mogu da izazovu nagli zastoj srca koji je redovno povratan. Usled uspostavljanja jednosmerne struje javlja se grč. Prag kontrakcije je 80 mA.

visokofrekventni i impulsni uticaji koji se javljaju pri elektromagnetskim prelaznim procesima u visokonaponskim strujnim krugovima.

U radu će se koristiti termin primarno kolo ili visokonaponsko kolo za sve elemente postrojenja energetskog sistema na visokom naponu. Niskonaponska ili sekundarna kola obuhvataju sva sekundarna kola mernih transformatora, komandno-signalne vodove, telekomunikacione vodove i vodove tele-merenja, vodove za napajanje pomoćnim jednosmernim ili naizmeničnim naponom svih uređaja zaštite, komandovanja i upravljanja.

Posledica dejstva elektromagnetskih impulsa u sekundarnim kolima mogu biti pogrešan rad uređaja ili oštećenje uređaja, u zavisnosti od nivoa smetnji. Zaštitu sekundarnih kola treba tako sprovesti da se spreči pogrešan rad uređaja zbog toga što to može da ima teške posledice po pogon elektroenergetskog sistema.

2. IZVORI ELEKTROMAGNETNIH IMPULSA

Izvor svih elektromagnetskih impulsa u sekundarnim kolima je elektromagnetski prelazni proces u primarnom kolu ili van njega. Prema ovom poreklu elektromagnetski prelazni procesi (EPP) se mogu podeliti na procese:

- a) atmosferskog porekla
- b) unutrašnjeg porekla

2.1. ELEKTROMAGNETSKI IMPULSI ATMOSFERSKOG POREKLA

EPP atmosferskog porekla nastaju

- 1) Direktnim atmosferskim pražnjenjem u fazni provodnik dalekovoda
- 2) Pražnjenjem u stub ili zaštitno uže bez preskoka na fazni provodnik
- 3) Pražnjenjem u stub ili zaštitno uže sa povratnim preskokom na fazni provodnik