

D E O I

DEJSTVA ELEKTRIČNE STRUJE PRI PROTICANJU KROZ ORGANIZAM

Poznato je da se fizičko dejstvo električne struje pri proticanju kroz provodnu sredinu sastoji iz:

- a) toplotnog dejstva,
- b) elektrohemijskog dejstva,
- c) elektrodinamičkog dejstva.

Pri proticanju struje kroz živi organizam, pored fizičkog dejstva javlja se i fiziološko dejstvo čije je proučavanje daleko složenije od fizičkog dejstva. Teškoće u proučavanju javljaju se zbog veoma velike složenosti po strukturi i organizaciji svakog živog organizma.

Prema intenzitetu dejstva struje na organizam vrši se podela na:

- a) proticanje struje bez ikakvih posledica,
- b) ozledjivanje usled proticanja struje,
- c) smrtni ishod usled proticanja struje.

Samo dejstvo struje je dvojako. Na mestu uticanja, odnosno isticanja mogu se stvoriti površinske ozlede. Mnogo opasnije je takozvano reflektorno dejstvo struje koje se sastoji u narušavanju osnovnih funkcija organizma - disanja i rada srca.

Ako se šire posmatraju posledice proticanja struje kroz ljudski organizam, tada se mogu uočiti četiri vrste štetnih dejstava i to:

- električni udar sa reflektornim dejstvom,
- termičke ozlede na mestu uticanja i isticanja struje i unutar organizma kod struja većih intenziteta,
- povrede usled pada prouzrokovane strujnim udarom,
- konjuktivitis oka prouzrokovan električnim lukom.

Ova posledica je vrlo neprijatna i bolna, ali je najbezopasnija u odnosu na ostale.

Da bi se bolje sagledalo fiziološko dejstvo struje potrebno je predhodno se upoznati sa osnovnim bioelektričnim pojavama u organizmu, počevši sa proučavanjem tih pojava na nivou ćelije.

1. BIOELEKTRIČNE POJAVE U ORGANIZMU

Da bi se jednostavnije mogle objasniti teške posledice koje može imati proticanje električne struje kroz organizam, na ovom mestu će biti objašnjene električne pojave koje se javljaju u normalnoj živoj ćeliji i koje su preduslov funkcionisanja nervnih i mišićnih organa.

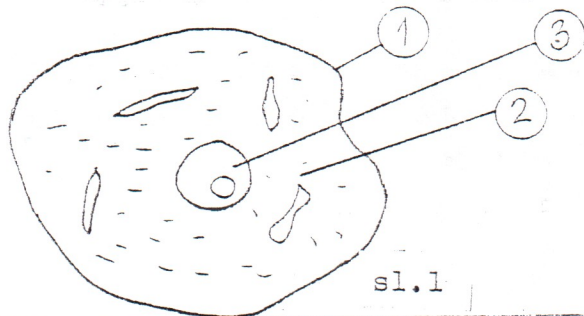
1.1. Akcioni potencijali (akcione struje)

Da bi se objasnili elementarni električni procesi u ćelijama potrebno je u najkraćim crtama objasniti gradju žive ćelije.

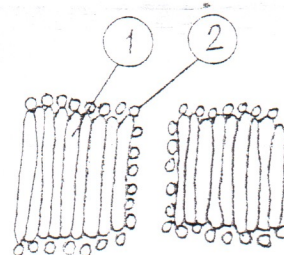
Svaka ćelija živog organizma sastoji se iz ćelijske membrane, protoplazme i jezgra. Protoplazma predstavlja prozirnu materiju koja ispunjava prostor unutar ćelije. Najveći deo protoplazme (75-90%) čini voda, dok ostali deo čine organske materije kao što su proteini, masti, šećeri, nukleinske kiseline koje su raspršene u vodi čineći koloidni sistem. Osim organskih materija u koloidnom rastvoru u protoplazmi nalaze se i neke neorganske materije. Za bioelektrične pojave u ćeliji poseban značaj imaju kalijum (K) i natrijum (Na) u obliku pozitivnih jona (kationa).

Ćelijska membrana predstavlja veoma tanak zgusnut sloj protoplazme koji predstavlja granični sloj putem koga se odvija razmena materije između ćelije i okoline. Oblik ćelije je određen ćelijskom membranom i odnosom sa drugim ćelijama. Mišićne ćelije su gotovo uvek izduženog vretenastog oblika, dok su nervne ćelije končastog oblika i vrlo dugačke.

Poznato je da je razmena materije i energije osnovno svojstvo žive ćelije. Kako se razmena materija odvija kroz ćelijsku membranu, može se zaključiti da ćelijska membrana ima vrlo veliki značaj za osnovne funkcije života. Na sl.1. prikazana je uprošćeno jedna ćelija. Može se uočiti ćelijska membrana (1), zatim protoplazma sa različitim tvorevinama unutar ćelije (2), a obično blizu geometrijskog centra ćelije nalazi se jedro (3). Jedro je najčešće okruglog oblika i ima veoma važne funkcije za normalno odvijanje životnih funkcija i za reprodukciju ćelija.



sl.1



sl.2

Na sl.2 prikazana je ćelijska membrana. Ona se sastoji od dugačkih molekula u obliku niti od hemijskog jedinjenja lipoida (1). Sa obe strane lipoidnog sloja vezani su proteini (2) u obliku mrežice koja je paralelna sa lipoidnim slojem. Od ovih proteina zavisi elastičnost ćelijske membrane. Debljina ćelijske membrane se procenjuje na 80 Å. Smatra se da na ćelijskoj membrani postoje pore širine 7-10 Å, a zidovi tih pora su pokriveni proteinskim omotačem. Predpostavlja se da pore imaju važnu ulogu za razmenu materija između ćelija i okoline.

Kod višecelijskih živih bića, ćelije su razdvojene međućelijskim prostorom čija je širina obično 110-150 Å koji je ispunjen međućelijskom tekućinom.

Ćelijska membrana je selektivan dinamički sistem. Neke materije prolaze kroz membranu lako, neke teže, a za neke je ona potpuno nepropusna. Prolaženje materija kroz membranu odvija se dvojako - pasivnim i aktivnim putem.

Za pasivan transport najvažnija je razlika koncentracija rastvora u prostoru u ćeliji i u međućelijskom prostoru. Ćelijska membrana se ponaša u slučaju pasivnog transporta kao polupropusna osmotska membrana, kroz koju na principu osmoze i osmotskog pritiska prolaze rastvorene materije, u oba pravca do izjednačenja koncentracija sa obe strane membrane. Za pasivan transport dovoljna je kinetička energija samih molekula.

U međućelijskom prostoru i u samoj ćeliji nalaze se brojni joni. Električna opterećenja ovih čestica otežavaju prolaženje kroz membranu. Sa druge strane čestice sa većim naelektrisanjem prolaze teže od čestica sa manjim naelektrisanjem. Pret postavlja se da membrana predstavlja mozaik pozitivno i negativno naelektrisanih delova, tako da upravo naelektrisanje membrane otežava razmenu naelektrisanih čestica kroz membranu. Pokazuje se da anjoni (negativni joni) prolaze lakše od katjona ka unutrašnjosti ćelije. Zbog toga se katjoni u izvesnoj meri zadržavaju na spoljašnjoj površi membrane zbog nemogućnosti da prodju kroz nju, pa se zbog toga ostvaruje površinsko električno opterećenje ćelijske membrane. Usled pozitivnog opterećenja potencijal membrane u odnosu na okolni prostor kreće se od 10 do 100 mV. Joni prolaze kroz membranu pasivnim putem pokretani razlikom potencijala, ali se i pored razmene jona potencijali nikada ne izjednačuju.

Ako bi se kroz ćelijsku membranu odvijao samo pasivan transport, pri- like bi se posle izvesnog vremena sa obe strane membrane potpuno izjednačile. Medju- tim, to se nikada ne događa jer se ćelija po svom sastavu uvek jako razlikuje od svoje okoline. Ta se razlika održava putem aktivnog transporta. Materija prolazi kroz membranu i protiv gradijanta koncentracije i protiv elektrohemijskog gradijenta. Za taj rad se koristi energija ćelijskog disanja. Otrovi nastali oksidacijom usporavaju

proces aktivnog transporta pa se zato eliminišu iz ćelije.

Kod takozvanih ekscitabilnih ćelija, odnosno ćelija koje su podražljive (reaguju na spoljašnje uticaje) javljaju se posebni električni fenomeni na ćelijskoj membrani. Predpostavlja se da se kod svih ćelija javljaju slični fenomeni, ali da se samo kod struktura koje imaju svojstvo provodljivosti (u živčanim i mišićnim vlaknima) ove pojave izraženo javljaju zbog fenomena propagacije (prostiranja) struja duž takvih struktura. Potencijali, odnosno struje nastale usled tih potencijala vezani su za električne pojave na ćelijskim membranama tkiva koje se sastoji iz ekscitabilnih ćelija i nazivaju se akcionim potencijalima, odnosno akcionim strujama.

Membrane ekscitabilnih ćelija su u normalnom stanju polarizovane. Sa spoljašnje strane (ekstracelularno) su pozitivne, a sa unutrašnje strane (intracelularno) su negativne. Ova pojava se naziva membranskim potencijalom ili potencijalom mirovanja. Veličina ovoga potencijala je različita za različite ćelije. U debelom živčanom vlaknu iznosi oko 85 mV. Membranski potencijal je posledica dvaju faktora.

a) Različite koncentracije jona sa obe strane ćelijske membrane, koji difuzijom prolaze membranu. To su uglavnom joni kalijuma i natrijuma.

b) Različite propustljivosti ćelijske membrane za jone koji prolaze kroz membranu difuzijom.

Trajna razlika u koncentracijama jona natrijuma i kalijuma je posledica trajnog aktivnog transporta pozitivnih jona natrijuma iz ćelije u međućelijski prostor i aktivnog transporta kalijuma u suprotnom smeru. Ova se pojava naziva natrijumskom pumpom. Sa druge strane razlike u koncentracijama (koncentracijski gradijent) prouzrokuje pasivan transport pojedinih jona u cilju izjednačenja koncentracija.

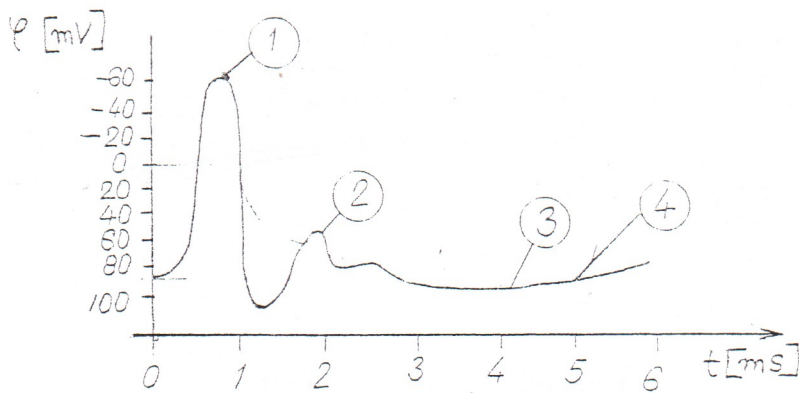
Ćelijska membrana je u stanju mirovanja mnogo propustljivija za kalijumove nego za natrijumove jone (membrana živčanih i mišićnih vlakana za 20-100 puta). Zbog toga će u mirovanju znatno veća količina kalijuma da izlazi iz ćelija nego što će natrijum ulaziti u ćeliju usled koncentracijskog gradijenta. Zbog toga spoljna strana membrane postaje elektropozitivna (zbog viška pozitivnih jona kalijuma sa spoljašnje strane membrane), a unutrašnja strana membrane će postati elektronegativna zbog manjka pozitivnih jona. Ovaj potencijal naziva se kalijumovim potencijalom jer nastaje uglavnom zbog difuzije kalijumovih jona. Održavanje membranskog potencijala zahteva stalni utrošak energije zbog aktivnog transporta natrijuma.

Ako se ekscitabilna membrana stimuliše nekim podražajem, dolazi naglo do povećanja propustljivosti membrane za natrijum (aktivacija membrane). Usled

toga natrijum u velikoj količini ulazi u ćeliju, što prouzrokuje još veće povećanje propustljivosti membrane za natrijum. Pošto je sad propustljivost membrane veća za natrijum nego za kalijum, zbog koncentracijskog gradijenta natrijum ulazi u ćeliju unoseći pozitivna naelektrisanja. Na taj način ćelijska membrana postaje sa unutrašnje strane pozitivna, a sa spoljne strane negativna. Ovakav negativan potencijal spoljašnje strane membrane naziva se suprotnim potencijalom, ili zbog velikog učešća natrijuma u formiranju tog potencijala natrijumovim potencijalom. Razlika električnih potencijala između spoljašnje i unutrašnje strane membrane usporava dalju difuziju. Smanjenje difuzije smanjuje propustljivost membrane za natrijum. Sada se polako javlja proces obrnute difuzije koji traje sve dok se membrana ne vrati u stanje mirovanja. Ovaj proces se naziva inaktivacijom membrane. Na kraju se uspostavlja ponovno stanje membrane koje se odlikuje smanjenom propustljivošću za natrijum i povećanom za kalijum.

Na sl.3 prikazan je uprošćeni dijagram akcionog potencijala debelog živčanog vlakna. Često se promena akcionih potencijala naziva impulsom. Preciznim mernim instrumentima moguće je uspešno odrediti vremenski tok akcionog potencijala.

U fazi nagle promene propustljivosti membrane za natrijum dolazi do vrlo nagle promene potencijala površine membrane, koji se menja sa +80mV na oko -60mV. Ova faza se naziva šiljatom impulsom (tačka 1 na sl.3), a ima oblik vrlo kratkotrajnog impulsa čije je trajanje do povratka u prethodno stanje oko 1 ms.



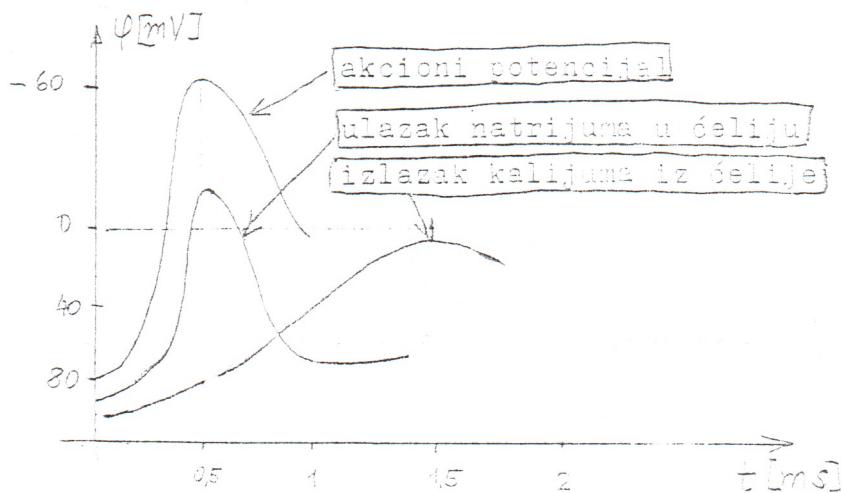
sl. 3.

U fazi inaktivacije membrane javlja se oscilacija (tačka 2 na sl.3) a zatim nešto više pozitivan naknadni potencijal (tačka 3) u odnosu na potencijal mirovanja (4). Naknadni pozitivan potencijal se postepeno smanjuje do dolaska membrane u stanje mirovanja.

Na sl.4 prikazan je proces difuzije kalijuma, odnosno natrijuma u toku pojave akcionog potencijala.

Na sl.4 može se uočiti da se u fazi šiljatog potencijala naglo

povećava ulazak natrijuma, dok se kasnije u procesu inaktivacije povećava izlazak kalijuma iz ćelije.

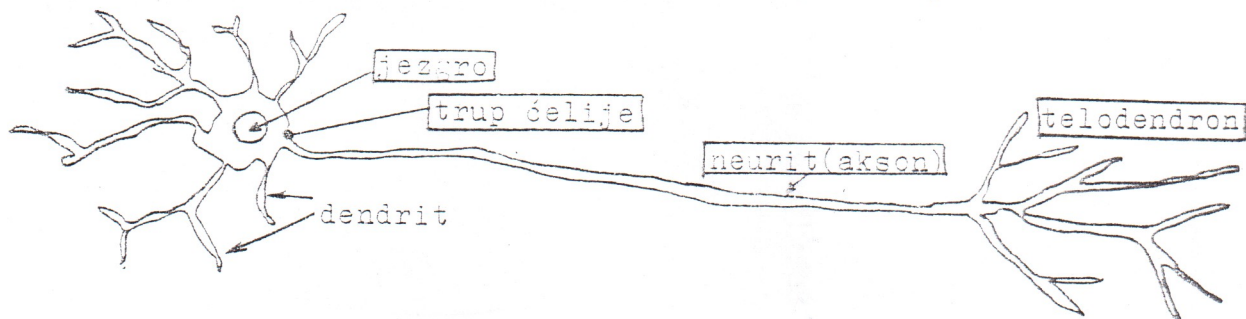


sl. 4

1.2. Električne pojave u nervnim ćelijama

Živčani ili nervni sistem čoveka deli se na centralni i periferni nervni sistem. Nervni sistem služi za prenošenje impulsa iz perifernih organa u centar i obrnuto. Prema svrsi koju imaju živci se dele na centripetalne ili senzibilne koji prenose od periferije ka centru i centrifugalne ili motorne koji prenose impulse od centra ka periferiji. Najčešće su živci mešovitog tipa tj. i senzibilni i motorni.

Na sl. 5 prikazan je oblik ćelije jednog motornog živca.



sl. 5

Nervna ćelija (neuron) sastoji se iz trupa ćelije, sa koga se račvaju izdanci (dendriti). Posebno se izdvaja dugačko nervno vlakno (neurit), koje može dostići dužinu veću od 1 m i čija je uloga da prenosi impulse. Na kraju nervnog vlakna (neurita) javlja se grananje (telodendron). Živčane ćelije su višestruko između sebe povezane. Mesta na kojima se dodiruju dva ili više neurona nazivaju se sinapse. Završetci nervnog vlakna jednog neurona u sinapsama dodiruju dendriti drugog neurona. Spoj živčane ćelije sa izvršnom ćelijom (žljezdanom ili mišićnom) takodje se naziva sinapsom).

Živčana aktivnost se svodi na funkcionalno povezivanje pojedinih delova tela, odnosno pojedinih organa i njihovu koordinaciju funkcija sa jedne strane, a sa

druge strane živčana aktivnost određuje odnos i reakciju organizma prema spoljašnjoj okolini. Celokupni nervni sistem se prema ulozi koju ima može podeliti na tri dela:

- a) senzorički - koji prima spoljašnje uticaje,
- b) centralni - integracijski,
- c) efektni (motorički) - koji izvršava reakciju organizma na podražaj.

Na početku senzoričkog dela nervnog sistema nalaze se receptori (čulne ćelije) koje na pojedine nadražaje stvaraju generatorske potencijale, odnosno akcijske potencijale receptora.

Receptori deluju kao biološki pretvarači koji jednu vrstu energije pretvaraju u drugu. Na receptore mogu delovati sledeće vrste energije:

- a) mehanička energija (receptori za dodir i pritisak, receptori za ravnotežu, slušni receptori),
- b) termička energija (receptori za hladnoću i toplotu),
- c) hemijska energija (receptori čula ukusa i mirisa),
- d) svetlosna energija (receptori čula vida).

Svaki od nabrojanih receptora ove tipove energija pretvara uvek u promenu električnog potencijala, koji se naziva receptorski ili generatorski potencijal. Amplituda ovog potencijala se procenjuje na oko 100 mV, ali zavisi od jačine stimulansa. Interesantno je da je intenzitet receptorskog potencijala srazmeran logaritmu intenziteta stimulansa (logaritamska reakcija receptora).

Ako receptorski potencijal postigne vrednost od 10-15 mV (prag nadražaja) dolazi do odašiljanja impulsa iz receptora senzoričnim živcem. Frekvencija odašiljanja impulsa je takodje srazmerna logaritmu intenziteta nadražaja.

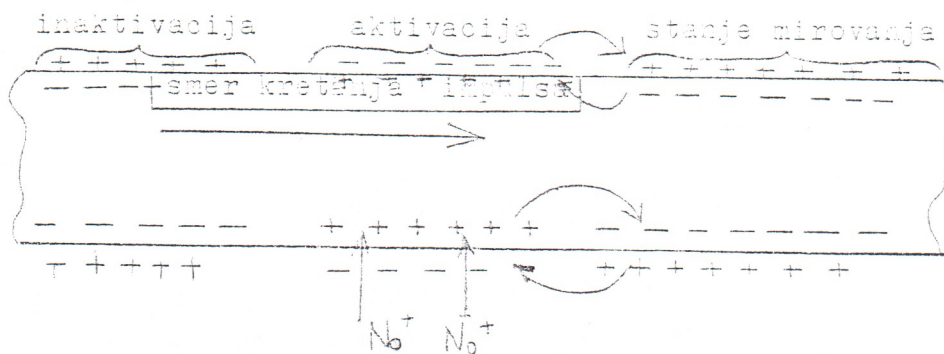
Zahvaljujući logaritamskoj reakciji receptora registracija stimulansa se može vršiti u ogromnom dijapazonu intenziteta stimulansa. Na primer intenzitet najslabijeg i najjačeg zvuka koji može uho da registruje odnosi se kao $1:10^9$.

Kao primer za ilustraciju rada receptora može da posluži rad receptora za opažanje pritiska. Pri deformaciji ćelijske membrane neurona usled spoljašnjeg pritiska dolazi do naglog povećanja propustljivosti ćelijske membrane za jone natrijuma i dolazi do pojave akcionog potencijala usled difuzije natrijuma kroz ćelijsku membranu. Ukoliko je stimulans dovoljno jak da stvori dovoljno veliki akcioni potencijal, iz receptora će kroz živac biti poslan signal (impuls).

Provodjenje impulsa je suština funkcionisanja živca. Impulsi ne nastaju u njemu, već ili u receptoru ili u ćelijama centralnog nervnog sistema.

Medjutim, živci se mogu nadražiti i direktno (bez posredstva receptora). To se može učiniti u eksperimentu, pri nekom patološkom procesu ili usled traume. Do nadražaja živca može doći mehaničkim, električnim ili hemijskim putem.

Za provodjenje impulsa kroz živčano vlakno najvažniju ulogu ima ćelijska membrana. Na slici 6 šematski je objašnjen mehanizam provodjenja impulsa kroz živčanu ćeliju.



sl.6.

Ukoliko je poslat impuls iz receptora u nervno vlakno, na početku nervnog vlakna dolazi naglo do povećanja propustljivosti membrane za natrijum i do promene polariteta membrane. Na tom mestu dolazi do pojave negativnog potencijala na površini ćelije, a pozitivnog u unutrašnjosti. Iz tog razloga se javlja lokalni strujni krug. Usled lokalnog strujnog kruga (koji je na sl.6 označen strelicama) dolazi do pomeranja zone na membrani koja je propustljiva za natrijumove jone. Sa druge strane ulaženje velike količine natrijumovih jona u posmatranoj zoni aktivacije dovodi do postepene inaktivacije područja koje je predhodno bilo aktivirano. Na taj način se prenosi akcioni potencijal duž živca brzinom od 0,5 do 120 m/s. Brzina prenošenja impulsa zavisi od toga o kojim se nervnim vlaknima radi.

Jedna od važnih osobina nervnih vlakana je zakon "sve ili ništa". Ako je neki stimulans malog intenziteta, on neće dovesti do aktivacije ćelijske membrane. Medjutim, ako se pojavi stimulans čiji je intenzitet dovoljan da izazove aktivaciju membrane, veličina impulsa usled akcionog potencijala uopšte ne zavisi od intenziteta nadražaja. Veličina akcionog potencijala u nervnoj ćeliji na mestu nadražaja i u toku širenja impulsa biće uvek ista. Ovaj zakon vredi za svako pojedinačno živčano vlakno, kao i za motorično vlakno skeletnih mišića i srčanog mišića.

Druga važna osobina je da je za vreme aktivacije membrane živčanog vlakna, odnosno za vreme postojanja akcionog potencijala taj živac nepodložan nadražaju. Ova osobina se zove refrakternost. Pri tome se razlikuje vreme apsolutne refrakternosti, kad nadražaj bilo kog intenziteta ne može da dovede do eksitacije (nadraživanja)

nervnog vlakna, i vreme relativne refrakternosti kad nadražaj većeg intenziteta od nekog minimalnog može da izazove pojavu ponovnog impulsa. Relativna reflektivnost se javlja kada se membrana delimično repolarizovala, odnosno približila stanju mirovanja.

Gradacija intenziteta signala se omogućuje provodjenjem impulsa po većem broju živčanih vlakama. Ukoliko se u provodjenju jednog signala uključi veći broj živčanih vlakana, to znači da je signal intenzivniji, a on odgovara intenzivnijem nadražaju. Intenzitet signala se može menjati u širokim granicama uključujući različit broj nervnih vlakana u funkciju provodjenja impulsa. Kod sve jačeg podražavanja receptora sve veći broj receptora biva podražen, pa se time uključuje i sve veći broj nervnih ćelija za prenošenje signala. Proširenje signala na sve veći broj nervnih vlakana naziva se prostornom sumacijom. Osim ovim načinom, povećanje intenziteta signala se može postići povećanjem frekvencije impulsa, što se naziva vremenskom sumacijom.

Ukoliko jedan nadražaj nije bio dovoljan da dovoljno pobudi receptor da pošalje impuls, sledeći nadražaj će se sumirati sa predhodnim i olakšaće slanje impulsa. To se objašnjava činjenicom da je prvi nadražaj smanjio potencijal mirovanja membrane, tako da drugi nadražaj može lakše da izazove stvaranje impulsa.

Frekvencija slanja impulsa, koja je srazmerna intenzitetu signala, kreće se od nekoliko impulsa do preko 1000 impulsa u sekundi.

Na osnovu opisa funkcionisanja nervne ćelije može se zaključiti da su osnova za pravilan rad nervnog sistema bioelektrične pojave koje se odvijaju na membrani nervnih ćelija.

1.3. Mišićne ćelije

Mišićne ćelije svojom gradnjom omogućavaju skupljanje (kontrakciju) pod dejstvom nadražaja i opuštanje (relaksaciju) po prestanku nadražaja. Podražavanje mišićnih vlakana se normalno vrši preko odgovarajućeg motornog živca, ili direktno (mehanički, termički, električnim ili hemijskim putem).

Ako se izoluje skeletni mišić, on reaguje na jednostavan nadražaj (na primer kratkotrajan strujni impuls) jednostavnom kontrakcijom, odnosno mišićnim trzajem. Mišićni trzaj traje oko 0,1 s. Sam proces se može podeliti u 4 etape:

1. Period latencije u kome i pored dejstva impulsa još ne dolazi do reagovanja mišića. Ovaj period traje manje od 0,001 s. Ukoliko je mišić opterećen, ovaj period je duži čak do 0,1 s.

2. Period kontrakcije obuhvata proces skraćivanja mišića. Trajanje može da bude vrlo različito.

3. Faza relaksacije odgovara povratku mišića u predhodno stanje.

4. Faza oporavka se nadovezuje na fazu relaksacije i predstavlja period do uspostavljanja stanja mirovanja.

Izolovano mišićno vlakno pokorava se zakonu "sve ili ništa". Na slab podražaj uopšte ne reaguje, ali na dovoljno jak podražaj dolazi do njegove kontrakcije, čiji intenzitet ne zavisi od intenziteta podražaja. Medjutim, skeletni mišić kao celina ne pokorava se ovom zakonu zbog toga što pojedina vlakna imaju različit prag podražaja. Zbog toga će broj vlakana koji kontrahira zavistiti od intenziteta podražaja.

Od trenutka kad podražaj ima toliki intenzitet da izaziva kontrakciju svih mišićnih vlakana u jednom mišiću, dalje povećanje podražaja ne izaziva pojačanje reakcije mišića.

Period nepodražljivosti (refraktornosti) nakon predhodnog podražaja je kod skeletnih mišića veoma kratak i traje oko 0,003 s. Ovaj period obuhvata ustvari samo fazu latencije i početak faze kontrakcije. Ukoliko dodje do novog podražaja odmah posle perioda nepodražljivosti, doći će do nove kontrakcije koja će se stopiti sa starom, a intenzitet kontrakcije će biti veći i trajaće duže. Ova pojava se naziva sumacija.

Ukoliko deluje više impulsa u kratkim vremenskim razmacima, kraćim nego što je trajanje jedne kontrakcije, dolazi do stapanja svih pojedinačnih kontrakcija u jednu zajedničku maksimalnu kontrakciju koja se naziva fiziološkim tetanusom. Frekvencija impulsa koja može da izazove tetanus je različita za različite mišiće i kreće se od nekoliko do nekoliko stotina impulsa u sekundi.

I za vreme mirovanja u mišićne ćelije skeletnih mišića stižu živčani impulsi, koji su toliko male frekvencije da nisu u stanju da izazovu kontrakciju, ali pro-uzrokuju permanentnu mišićnu napetost koja se naziva mišićni tonus.

Intenzitet kontrakcije mišića se može povećati sa:

- frekvencijom impulsa koji dolaze po nervnim ćelijama,
- stupnjevitim angažovanjem većeg broja vlakana.

Za vreme mirovanja svi delovi mišića imaju isti potencijal. Nakon podražaja javlja se razlika električnog potencijala. Uočava se da je mesto podražaja elektronegativno u odnosu na nepodraženo mesto. Nadražaj se širi kroz mišić u obliku talasa, pa se na sličan način menja i električno stanje mišića. Kad nadražaj stigne

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-