

OSNOVE BIOMEDICINSKOG INŽENJERSTVA

ELEKTRODE

1

ELEKTRODE

Elektrode su **pretvarači** struje u jonskoj sredini (organizmu) u struju slobodnih elektrona u provodniku.

Elektrode u kontaktu sa organizmom pokazuju **rezistivno-kapacitivne** efekte.

Na kontaktu elektroda i organizma dolazi do složenih **biohemijskih procesa** koji značajno smanjuju preciznost merenja bioloških signala.

Po načinu upotrebe razlikujemo dve vrste:

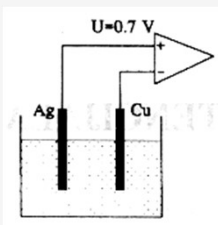
- elektrode koje koristimo **više puta**;
- elektrode za jednokratnu **upotrebu**,

Elektrode, koje se mogu ponovo upotrebiti, primenjujemo posle čišćenja ili sterilisanja posle svake upotrebe.

Jednoupotrebne elektrode se u poslednje vreme sve češće koriste jer su jednostavnije, a cena je prihvatljiva.

2

ELEKTRODNI OFSET POTENCIJAL



Dva različita metala u elektrolitu generišu **napon**. Ako je jedan od metala Ag, a drugi metal Cu napon je $V=0,4$ V. Ovaj napon je posledica promena na površini elektroda u dodiru sa elektrolitom. Pojavu potencijalne razlike elektrode zbog kontakta sa elektrolitom nazivamo polučelijski potencijal elektrode. Napon koji se javlja između **Ag i Cu** elektrode je:

$$V_{Ag^+} - V_{Cu^{2+}} = 0.80 - 0.34 = 0.46V$$

3

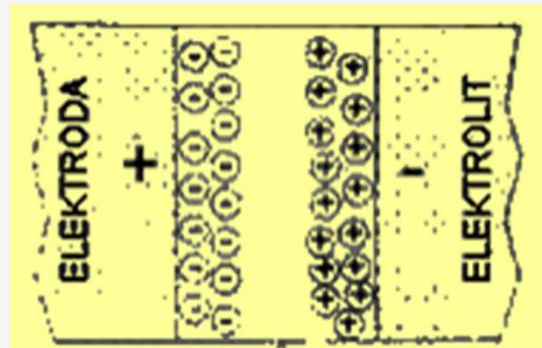
ELEKTRODNI OFSET POTENCIJAL

Polučelijski potencijali nekih **metala** u kontaktu sa 1 molarnim rastvorom KCl

Metal	Polučelijski potencijal [V] na $T=300$ K	Temperaturski koeficijent [mV/K]
Al^{3+}	-1.662	1.375
Zn^{2+}	-0.763	0.962
Fe^{2+}	-0.44	0.923
Pb^{2+}	-0.126	0.420
H^+	0	-
Cu^{2+}	0.337	0.879
Ag^+	0.799	-0.129
Pt^+	1.2	-
Au^+	1.691	-

4

Formiranje **dvojnog** sloja na **kontaktnu** metalne elektrode i elektrolita



5

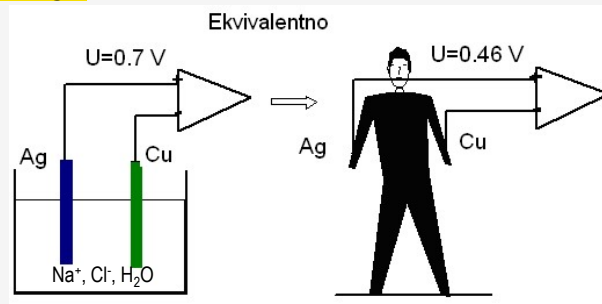
Elektrode u kojima nema prenosa naelektrisanja kroz graničnu površinu metal - elektrolit su potpuno *polarizljive* ili *nereverzibilne elektrode*. Kod ovih elektroda dolazi samo do jedne od hemijskih reakcija oksidacija ili redukcija.

Elektrode kod kojih dolazi do prenosa naelektrisanja su *nepolarizljive* ili potpuno *reverzibilne* i kod njih su izražene obe hemijske reakcije. Realne elektrode pokazuju osobine i polarizljivih i nepolarizljivih elektroda.

Za **snimanje** elektrofizioloških signala se koriste **nepolarizljive** elektrode.

6

Elektrode postavljene na površinu tela daju efekat elektromotorne sile (baterije) koja vrši elektrolitičku disocijaciju tkiva. Oslobadja se **vodonik**, a **korodiraju** elektrode.



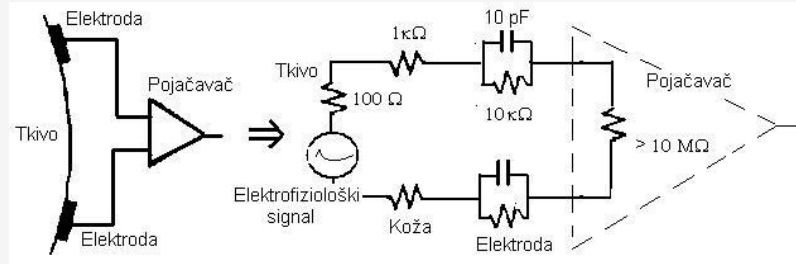
7

Metali sa visokim negativnim potencijalom elektrode kao što je naprimer Al teže da budu hemijski aktivniji od metala sa pozitivnim potencijalom kao što je Ag. Ako samo jedna elektroda nije inertna formiranje jona medju elektrodama ima **toksično dejstvo**.

Mehaničke **osobine** elektroda su važne u mnogim primenama. Iako je od najveće važnosti da elektrode imaju odgovarajuće električne osobine, neophodno je i da se lako čiste, odnosno sterilišu, kao i da se lako pričvršćuju na telo.

8

Ekvivalentno kolo parcijalno nepolarizljive elektrode



Tipične vrednosti pri primeni kvalitetnih elektroda na pripremljenoj koži za merenje

9

Srebro/srebrohlorid elektroda se sastoji od čvrste srebrne (Ag) ploče velike čistoće (99.9999%) presvučene tankim slojem srebra hlorida (AgCl).

Prisustvo AgCl dozvoljava da se elektrode ponašaju kao skoro potpuno nepolarizljive s obzirom da prisustvo AgCl ne dozvoljava stvaranje dvoslojne elektrode. AgCl u elektrolitu disosuje na jone Ag^+ i jone Cl^- . Joni Cl^- se slobodno kreću između elektrode i elektrolita, i onemogućuju formiranje dvojnog sloja. Ova elektroda ima malu impedansu, i stabilan ofset potencijal.

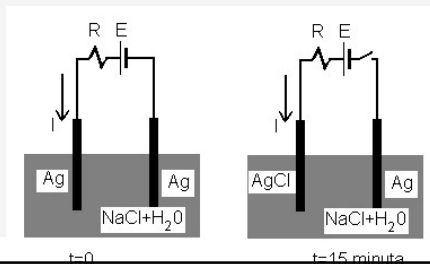
10



Rapodela jona Ag^+ i Cl^- u sloju AgCl na Ag/AgCl elektrodi. Joni Cl^- se kreću od elektrolita ka Ag i grade jedinjenje AgCl na površini Ag

11

Sloj srebrohlorida na Ag/AgCl elektrodama se dobija procesom hlorisanja hemijski čistog srebra (99.9999%). Srebrne elektrode postaju pozitivne u rastvoru NaCl u vodi. Struja kroz elektrodu intenziteta 1 mA/cm^2 u trajanju od nekoliko minuta formira sloj srebrohlorida na površini srebra.



12

Offset Ag/AgCl [V]	0.4	0.34	0.29	0.23	0.2
Molarna koncentracija KCl	0.001	0.01	0.1	1	4.5

Offset potencijal Ag/AgCl elektrode u kontaktu sa rastvorom različitih koncentracija KCl u vodi. Potencijali su mereni u odnosu na standardnu vodoničnu elektrodu

Ag/AgCl elektrode imaju izrazite fotosenzitivne osobine, mada nije potpuno razumljivo da li svetlo koje utiče na Ag/AgCl elektrode rezultuje stvaranjem potencijala ili samo prouzrokuje promenu ofset potencijala. Poželjno je da se elektroda zakloni od svetla da bi se obezbedila stabilnost rada.

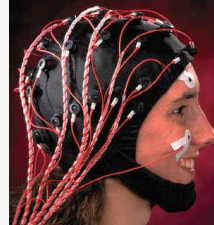
13

Metalne provodne elektrode su najčešće u obliku tankog diska. **Mehaničko** pomeranje elektroda u odnosu na površinu kože indukuje elektromotornu silu (dvojni sloj se ponaša kao oblast gradijentnog naelektrisanja). **NEOPHODNO JE FIKSIRATI ELEKTRODE**

Pore, dlačice i ostale neravnine na koži ne dozvoljavaju da glatka površina elektrode ima prislan kontakt sa kožom, već se formira neravnomeran i nedefinisan vazdušni sloj izmedju elektrode i kože. **NEOPHODNO JE PRIMENITI PROVODNU PASTU (Conductive Gel). PASTA MORA DA BUDE HIPOALERGIJSKA, I TREBA DA BUDE ADHEZIVNA. TIPIČNA PASTA IMA OTPORNOST 10Ω , I ZANEMARLJIVU KAPACITIVNOST.**

14

Elektrode za snimanje električne aktivnosti
kore velikog mozga (EEG, evocirani
potencijali)



15

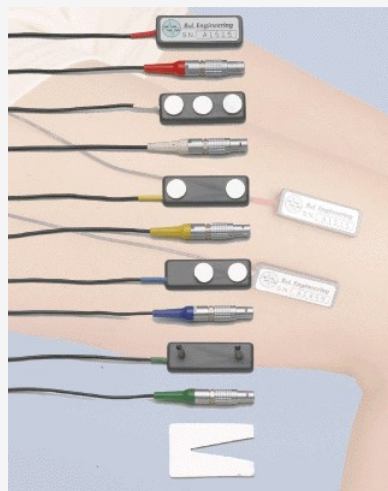


EMG elektrode

16



Površinske EMG
elektrode



17



Površinske jednoupotrebne elektrode za EKG

18



19

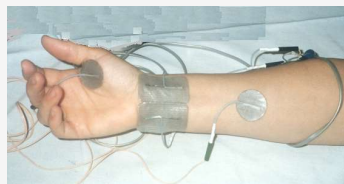
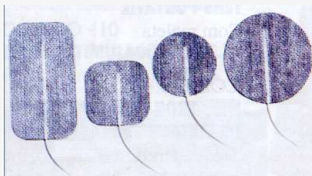


20

Posebno su interesantne elektrode koje koriste samolepljive polimere. Adhezivna svojstva ovih elektroda su odlična, a impedansa je prihvatljiva. Električne osobine provodnih polimera su stabilne, ali slabije od osobina Ag/AgCl.

Postoje i elektrode koje mogu da se koriste za merenja kod kojih su ispitanici pokretni, a potrebno je meriti elektrofiziološke signale u dužem vremenskom periodu. Jedna od takvih elektroda je "spray-on" razvijena za potrebe agencija NASA u cilju beleženja srčanih signala pri svemirskim letovima. Elektrode su provodni lepak kojim se fiksira kontaktna žica koja je natopljena istim sredstvom za lepljenje.

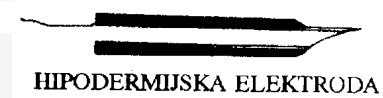
21



Površinske elektrode sa polimerom

22

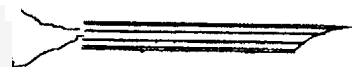
Iglene elektrode



HIPODERMIJSKA ELEKTRODA



KONCENTRIČNA
HIPODERMIJSKA ELEKTRODA



DIFERENCIJALNA KONCENTRIČNA
HIPODERMIJSKA ELEKTRODA



23

Implantibilne elektrode

Intramuskularne – tanak provodnik

Epimizijalne elektrode – na površini mišića

Epineuralne elektrode – spiralne, "cuff"

Intraneuralne elektrode

Intrakortiklane elektrode.

Itd.

24

Može se slobodno reći da je
**razumevanje rada i
pravilna primena elektroda**
jedna od najznačajnijih razlika
izmedju "biomedicinskih" i
ostalih inženjera!