



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Biomedicinska instrumentacija



Biomedicinska instrumentacija

P1 – Elektrode

Ak.god. 2010./2011.

prof.dr.sc. Ratko Magjarević

Elektrode

Bioelektrički potencijali – podsjetimo se:

- bioelektrički potencijali javljaju se na membrani stanice zbog razlike u koncentraciji iona (pretežito Na^+ , K^+ i Cl^-) u izvan- i unutarstaničnoj tekućini
- razlike potencijala na staničnoj membrani je unutar granica između 5mV i 100mV
- ova razlika potencijala naziva se potencijal u mirovanju

Elektrode

Bioelektrički potencijali mirovanja:

- potencijal unutrašnjosti stanice je u mirovanju negativan u odnosu na okolinu
- potencijal mirovanja živčanih i mišićnih stanica je tipično -70mV do -85mV

Akcijски potencijali:

- kad se stanična membrana podraži, dolazi do nagle promjene vodljivosti membrane prvo za ione natrija (depolarizacija stanice), a zatim za ione kalija (repolarizacija)
- smanjuje se negativni potencijal unutrašnjosti stanice, odnosno kratkotrajno takav potencijal može postati pozitivan
- ovakva razlika potencijala naziva se akcijski potencijal

Elektrode

Kako pristupiti stanici i izmjeriti bioelektrične potencijale?

a) pojedinačne stanice

- debljina polupropusne membrane oko 10nm
- mjerenje *in vivo* ili *in vitro*

b) potencijal skupine stanica – tkiva ili organa

- pristup tkivu ili organu – neinvazivna (beskrvna) ili invazivna mjerenja
- međusobni utjecaj različitih tkiva/organa (potencijali, impedancije)

Elektrode

Elektroda je sučelje

- Za spajanje na mjerne uređaje i mjerenje bioelektričkih potencijala upotrebljavaju se elektrode kao sučelje, međutim

Elektroda je također i pretvornik

- izmjena nosioca naboja:
 - u električkim krugovima, nosioci naboja su elektroni
 - u organizmu, nosioci naboja su ioni
- spaja se na površinu organizma (kožu, sluznicu) ili na/u organ u unutrašnjosti organizma

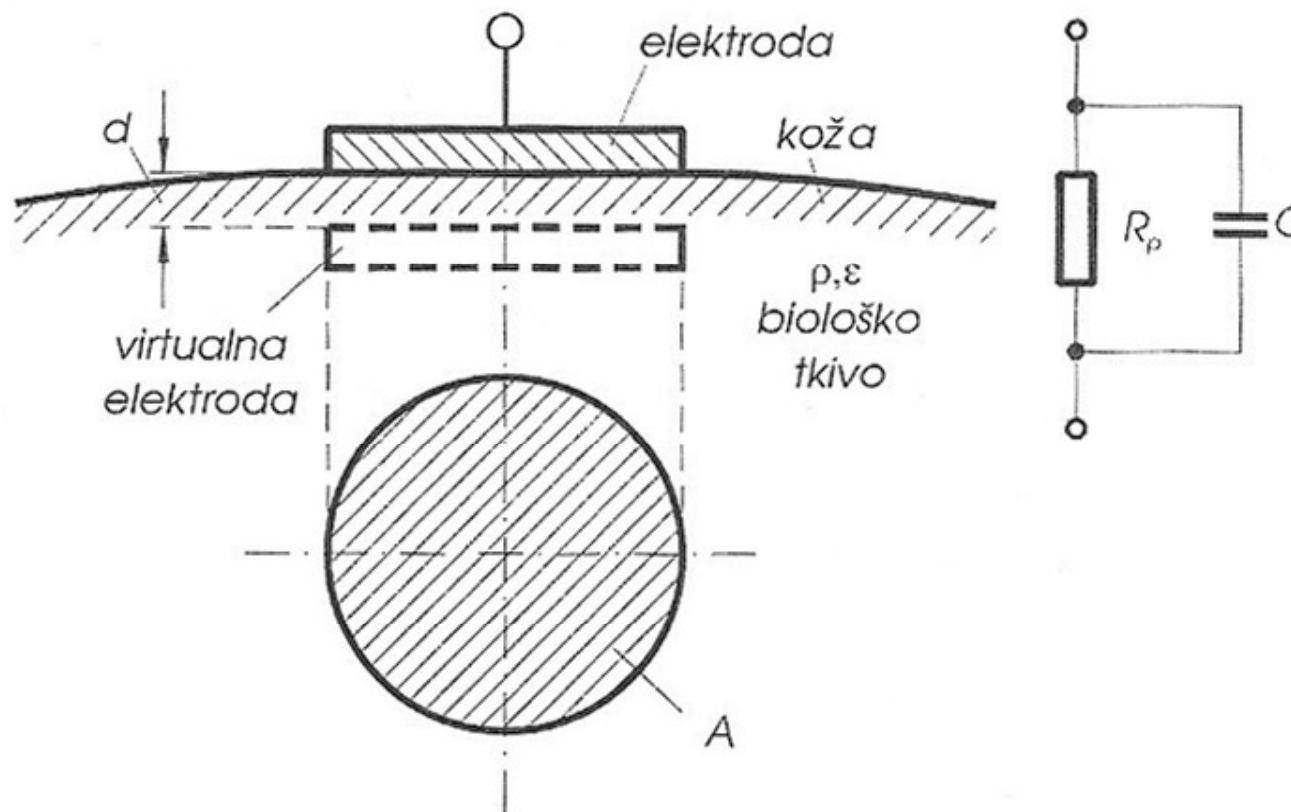
Elektrode

- Najveći dio bioelektričkih potencijala nastoji se izmjeriti neinvazivno, tj. s površine organizma, postavljanjem elektroda na kožu
- Električke značajke različitih tkiva
 - specifična vodljivost (specifični otpor)
 - specifična dielektrička konstanta
- Značajke bioloških tkiva su:
 - nelinearnost (ovisnost o frekvenciji i gustoći struje),
 - nehomogenost (nejednaka svojstva u građi organa)
 - anizotropnost (različita svojstva u različitim smjerovima, tipično uzduž stanice-vlakna),

Elektrode

- Radi boljeg razumijevanja sučelja elektroda – tkivo, koristimo model tog sučelja
- Pasivne električke značajke sučelja elektroda koža nastojimo izraziti idealnim električkim komponentama s koncentriranim parametrima
 - otpor
 - kapacitet
- Ovakav model može se koristiti za mjerne elektrode u ograničenom frekvencijskom području
-

Nadomjesna shema koža-elektroda



Slika 3.2. Sučelje između elektrode i kože i pojednostavnjena nadomjesna shema

Nadomjesna shema koža-elektroda

$$R_p = \rho \frac{d}{A}$$

$$\rho = \frac{1}{\mu q n}$$

$$C_p = \varepsilon \frac{A}{d}$$

μ – pokretljivost naboja

q – naboj

n – broj naboja u jedinici volumena

R_p - otpor između elektrode i dobro vodljivog sloja tkiva (virtualne elektrode)

d - debljina kože

A - površina elektrode

ρ - specifični otpor

C_p - kapacitet između elektrode i virtualne elektrode

ε - dielektrična konstanta kože

Spec. otpor bioloških tkiva

BIOLOŠKO TKIVO	MIŠIĆ		PLUĆA	KOSTI	KRV	MAST	ELEKTRODNA PASTA
	UZDUŽNO	POPREČNO					
SPECIFIČNI OTPOR Ω CM	240	675	800- 2000	16000	154	1000- 3000	10-200

Nadomjesna shema koža-elektroda

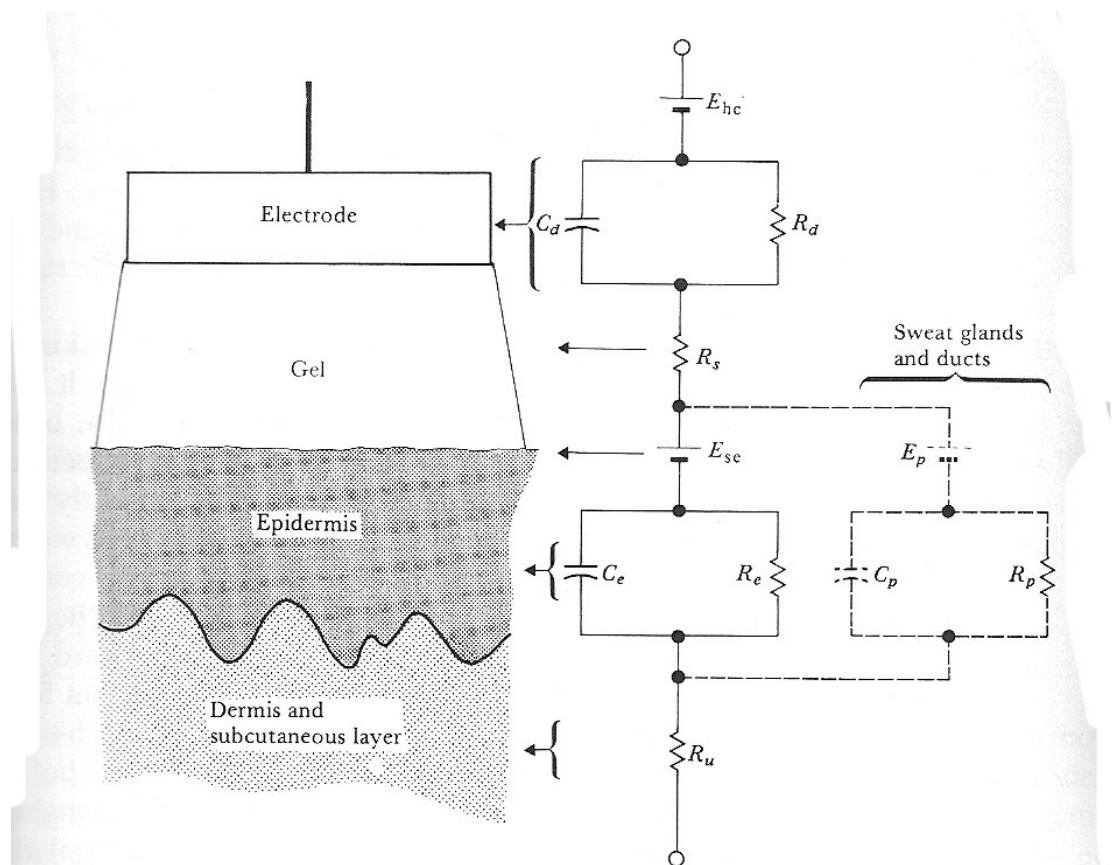
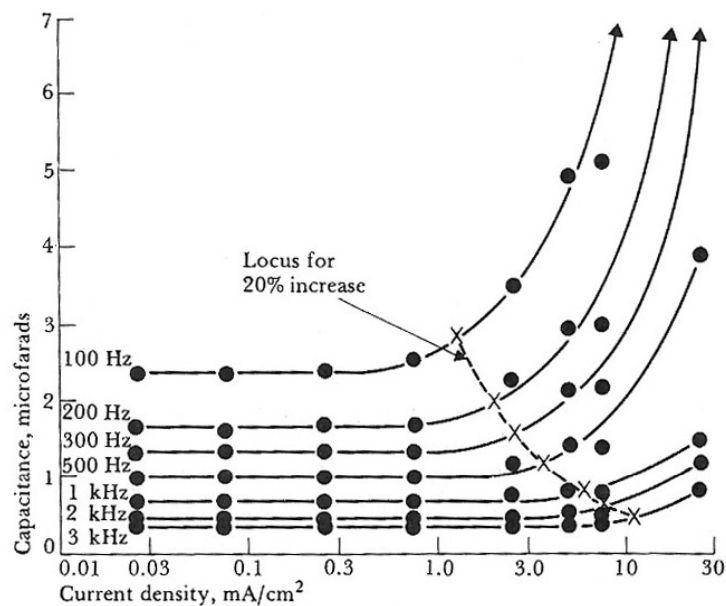
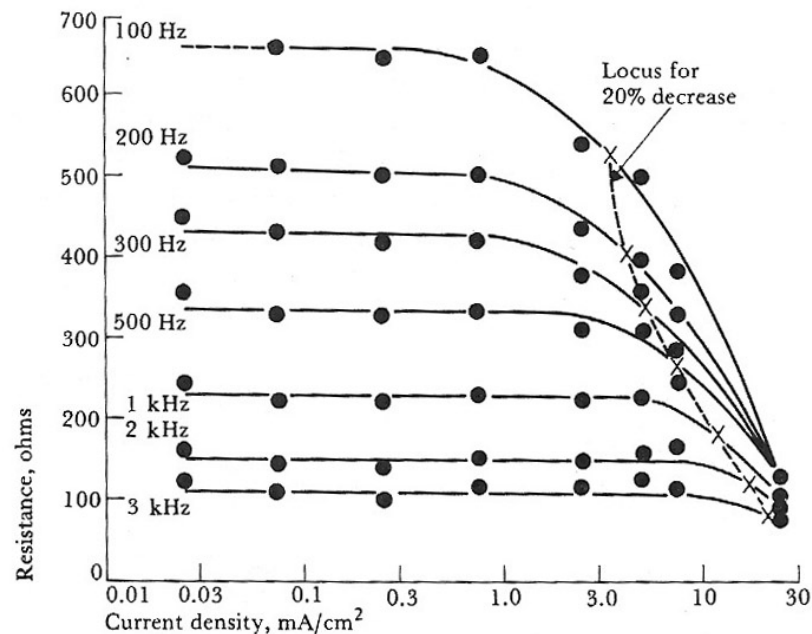


Figure 5.12 A body-surface electrode is placed against skin, showing the total electrical equivalent circuit obtained in this situation. Each circuit element on the right is at approximately the same level at which the physical process that it represents would be in the left-hand diagram.

Nadomjesna shema koža-elektroda



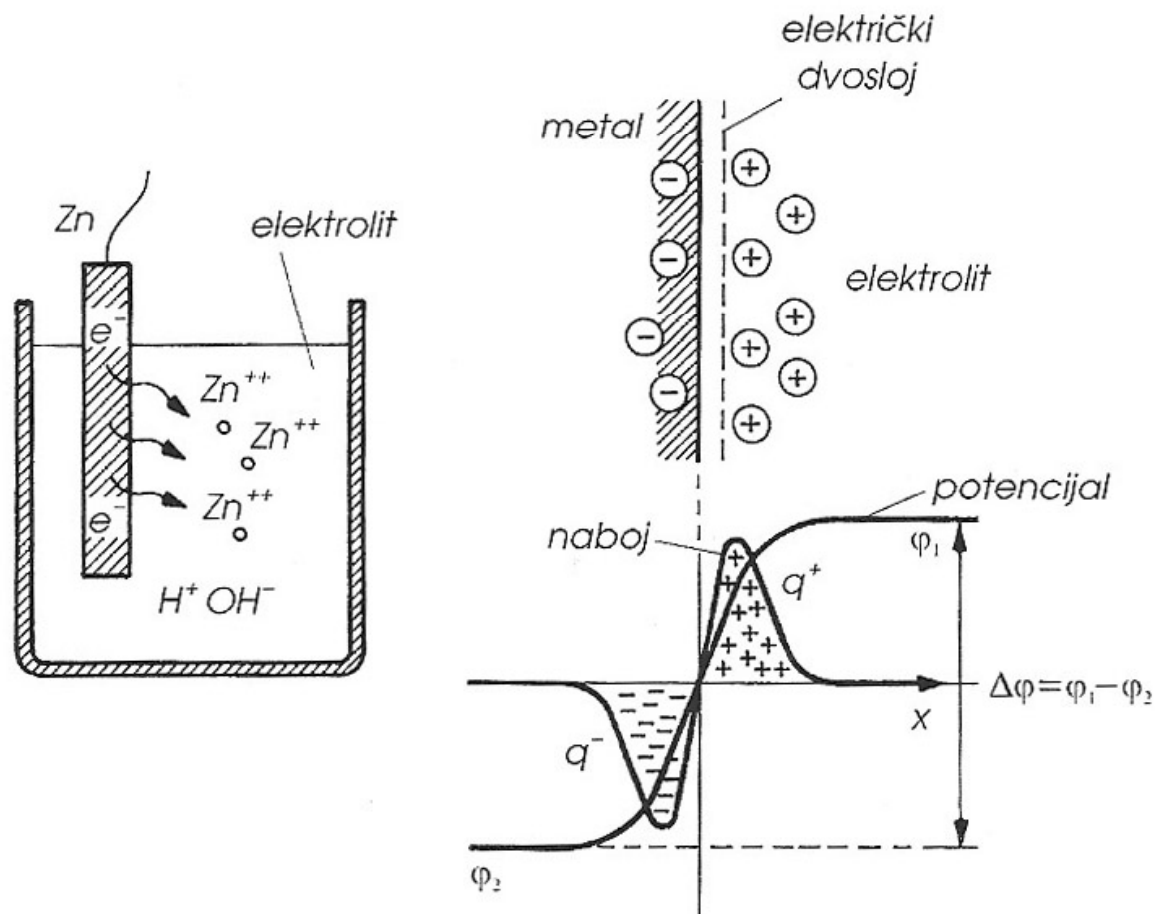
(a)



(b)

series resistance, frequency, and current density for the electrode of part (a). (From L. A. Geddes, C. P. DaCosta, and G. Wise, "The Impedance of Stainless Steel Electrodes," *Medical and Biological Engineering*, 1971, **9**, pp. 511–521.)

Potencijal metal-elektrolit



Slika 3.3. Stvaranje potencijala dvosloja na granici metal-elektrolit

Potencijal metal-elektrolit

Tablica 3.2

VOLTIN NIZ pri 20°C					
Element		E_0 u V	Element		E_0 u V
Li	$\text{Li}^+ + e^-$	-3,01	Pt(H ₂)H ⁺		0,000
Mg	$\text{Mg}^{2+} + 2e^-$	-2,38	Ag+Cl ⁻	$\text{AgCl} + e^-$	+0,222
Al	$\text{Al}^{3+} + 3e^-$	-1,662	Cu	$\text{Cu}^{2+} + 2e^-$	+0,337
Zn	$\text{Zn}^{2+} + 2e^-$	-0,763	Cu	$\text{Cu}^+ + e^-$	+0,521
Fe	$\text{Fe}^{2+} + 2e^-$	-0,44	Ag	$\text{Ag}^+ + e^-$	+0,799
Ni	$\text{Ni}^{2+} + 2e^-$	-0,250	Pd	$\text{Pd}^{2+} + 2e^-$	+0,987
Sn	$\text{Sn}^{2+} + 2e^-$	-0,140	Pt	$\text{Pt}^{2+} + 2e^-$	+1,2
Pt(H ₂)H ⁺		0,000	Au	$\text{Au}^{3+} + 3e^-$	+1,498

Potencijal metal-elektrolit

- Ako uronimo neki metal u otopinu njegovih soli, pojavit će se potencijal polučlanka E_{0M} i napon ovisan o koncentraciji iona tog metala u otopini:

$$E_{0.5M} = E_{0M1} - \frac{RT}{nF} \ln c_{M1}$$

- Ako imamo neki drugi metal uronjen također u otopinu vlastitih iona, njegov će potencijal biti

$$E_{0.5M} = E_{0M2} - \frac{RT}{nF} \ln c_{M2}$$

Potencijal metal-elektrolit

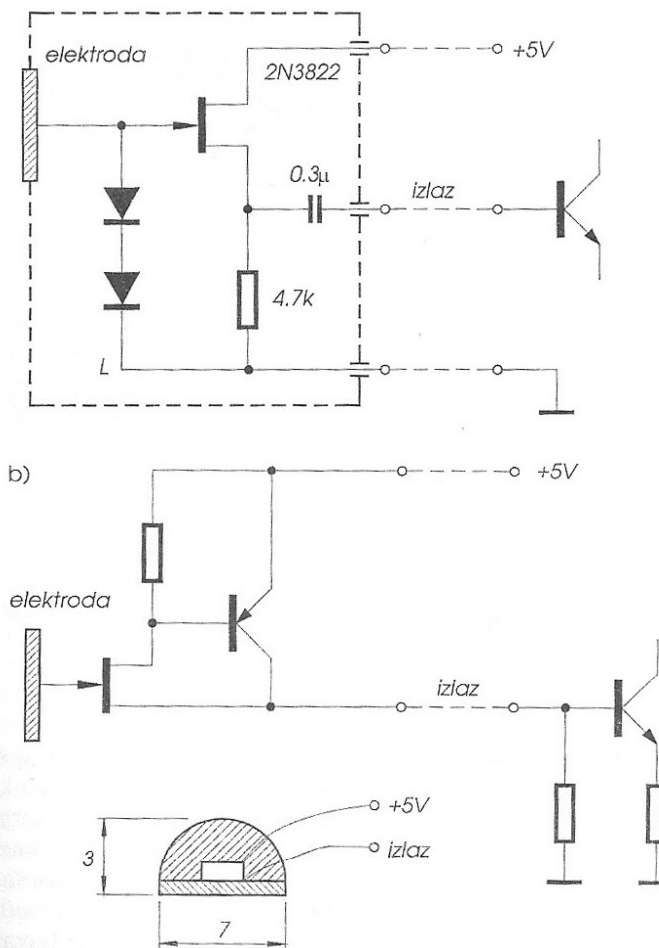
- Ako te dvije otopine odvojimo polupropusnom membranom tako da se omogući prolaz iona, a da se pri tome izbjegava izvorni spoj otopina, može se izmjeriti razlika potencijala među otopinama prema izrazu

$$E = E_{0.5M1} - E_{0M2} = E_{0M1} - E_{0M2} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[c_{M1}]}{[c_{M2}]}$$

- Svaka elektroda koja dođe u doticaj s elektrolitom imat će određeni potencijal prema gornjem izrazu. Taj potencijal je pri mjerenju bioloških napona nepoželjan jer pri uporabi istosmjernih pojačala velikog pojačanja dovodi do zasićenja pojačala. Kako se izbjeglo zasićenje pojačala koristi se manje pojačanje u ulaznom pojačalu te se slijedeći stupnjevi pojačanja odvajaju kondenzatorom.

Suhe elektrode

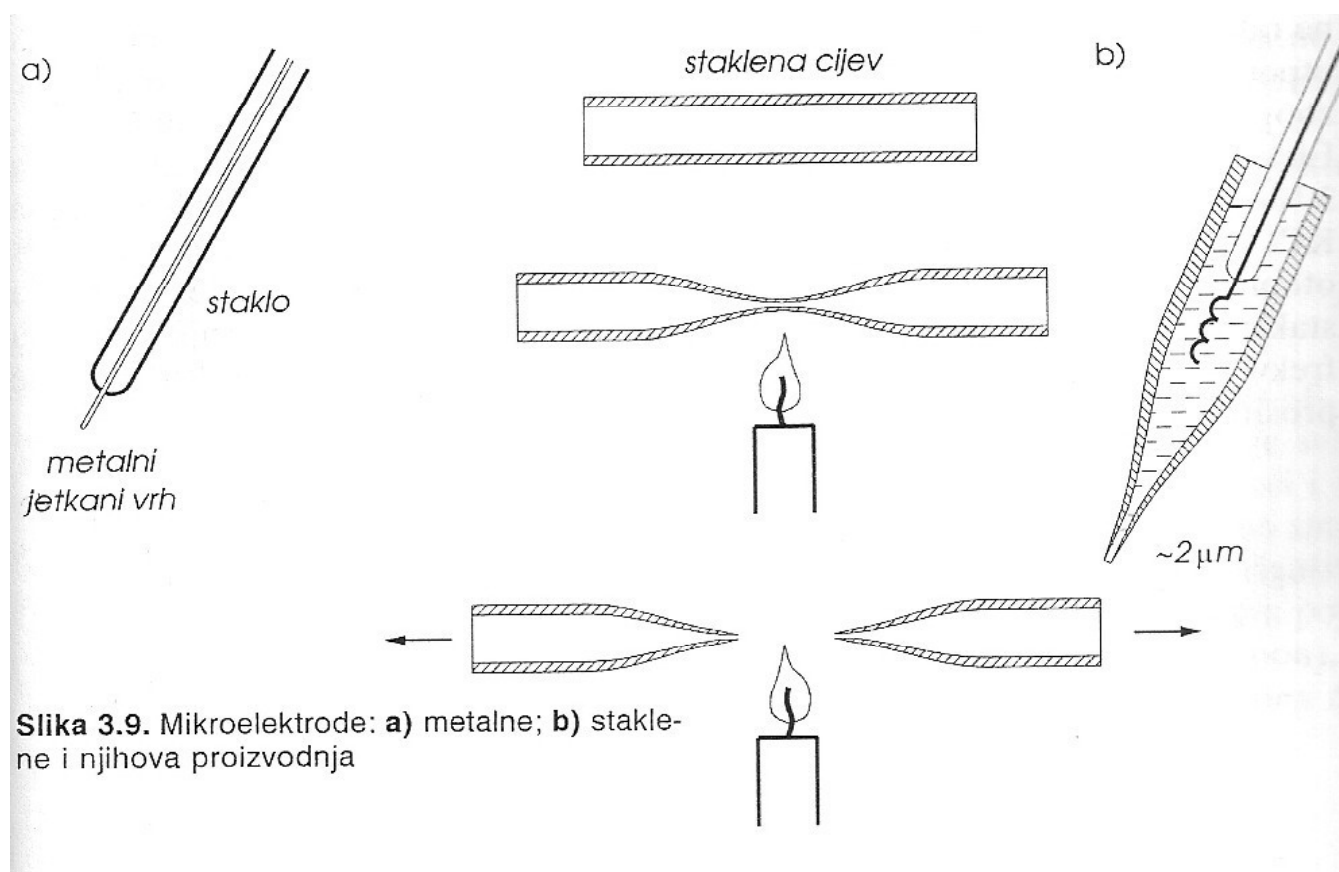
- Koriste se kako bi se izbjeglo stvaranje polarizacijskog napona.
- Problem je velika ulazna impedancija što ih čini osjetljivim na smetnje.
- Zbog toga se u samu elektrodu ugrađuje pojačalo čija je svrha reducirati velik ulazni otpor na malu vrijednost te time smanjiti utjecaj smetnji.



Slika 3.7. Suhe elektrode s ugrađenim pojačalom u monolitnoj tehnologiji u dvije izvedbe

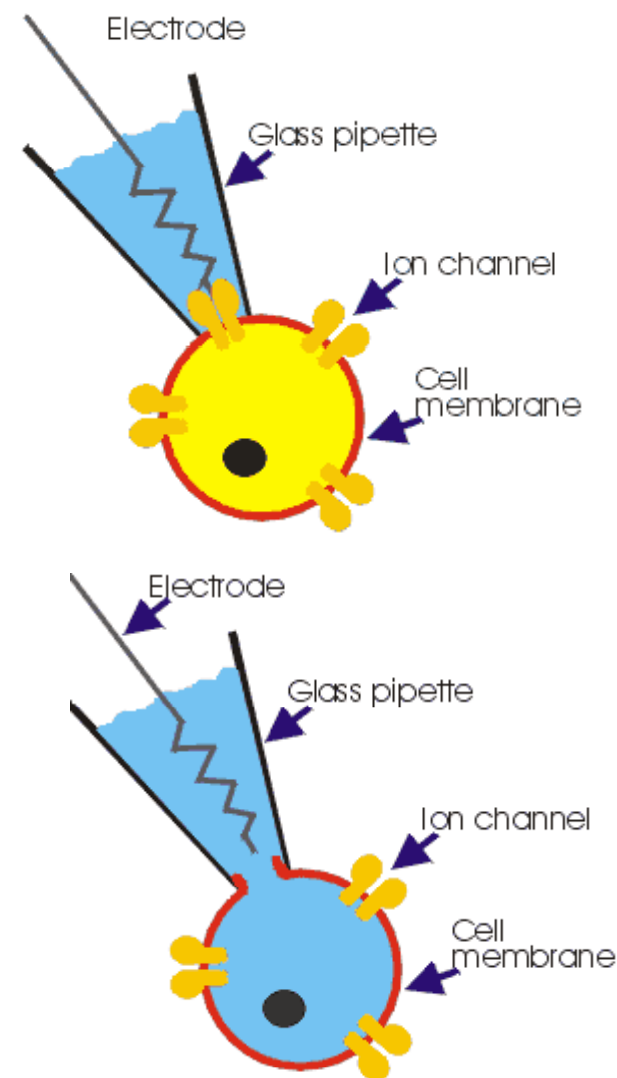
Mikroelektrode

- Služe za mjerenje bioloških potencijala na stanicama



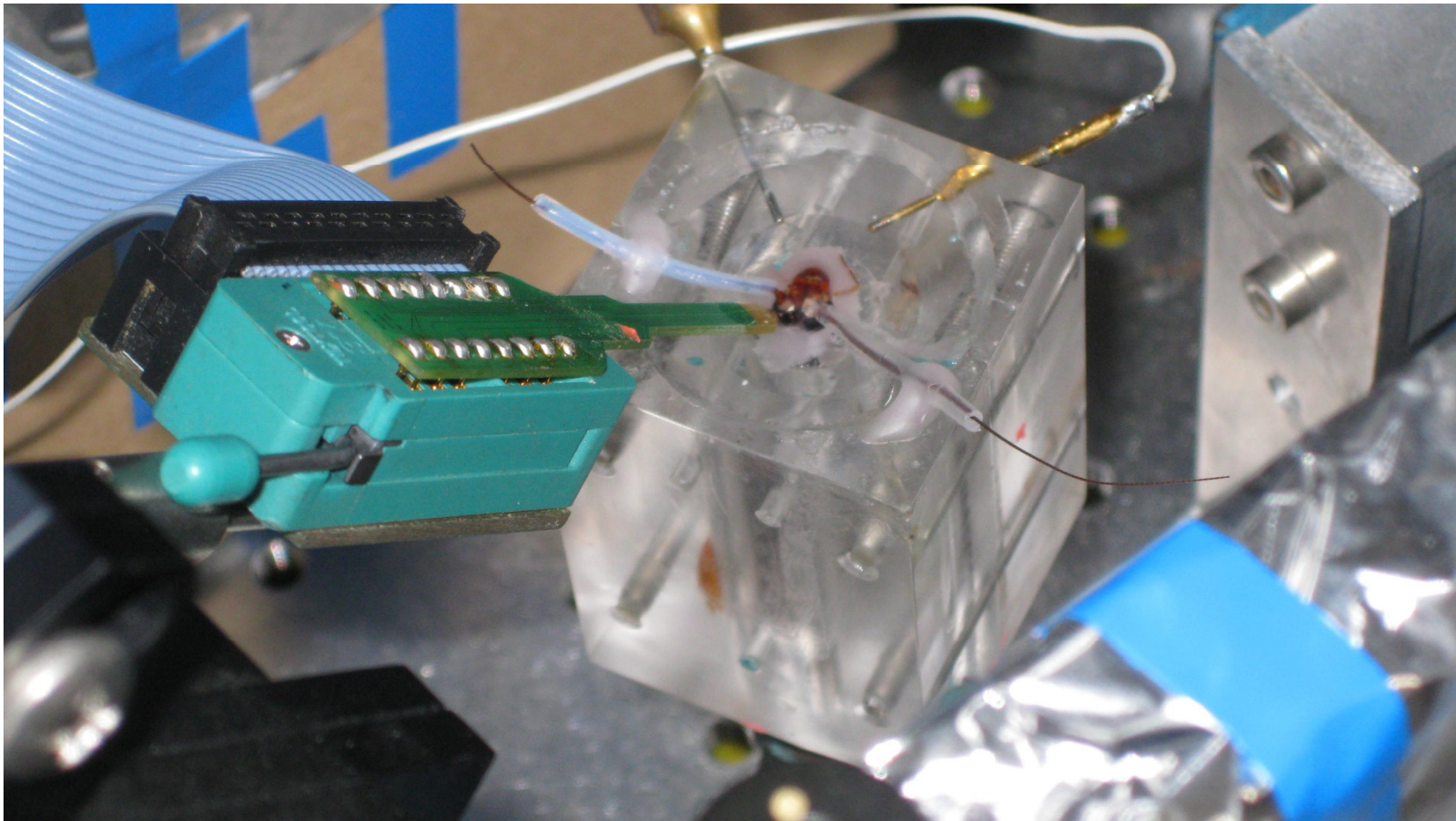
Mikroelektrode

- “cell attached recording”: pipeta dodiruje membranu i formira visoko-omski spoj ($\sim 1\text{G}\Omega$).
- “whole cell recording”: usisavanjem kroz pipetu razbije se membrana – otopina u pipeti i unutrašnjost stanice postaju uniformni.



Mikroelektrode

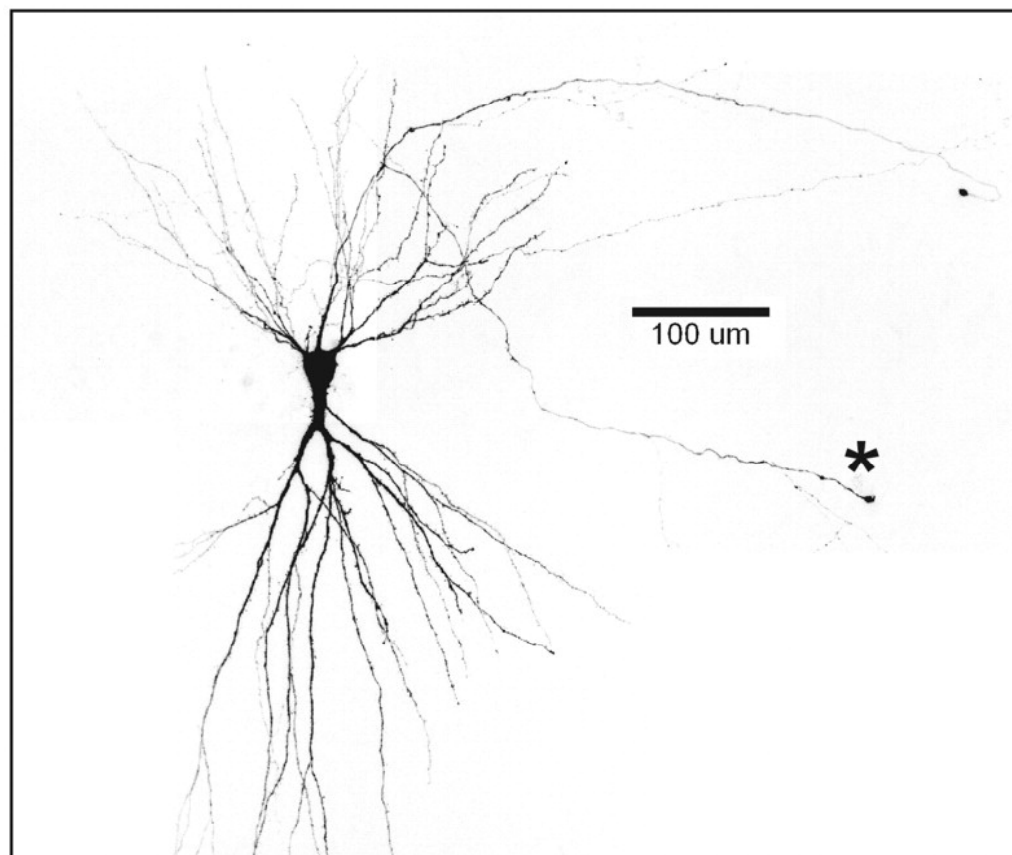
➤ Izvanstanično snimanje:



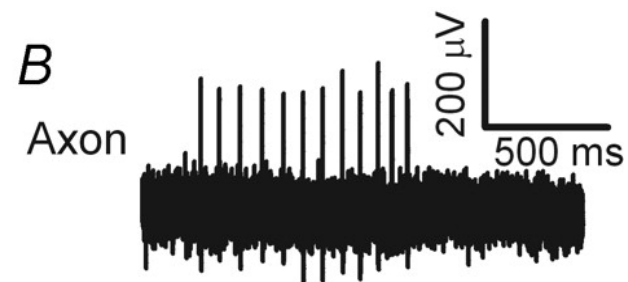
Mikroelektrode

➤ Akcijski potencijali snimljeni izvanstanično

A



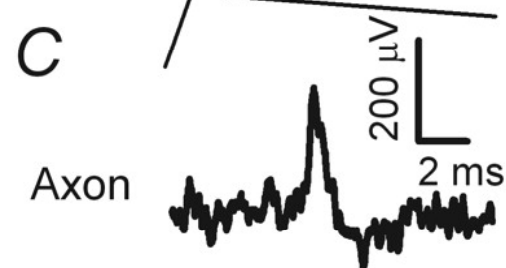
B



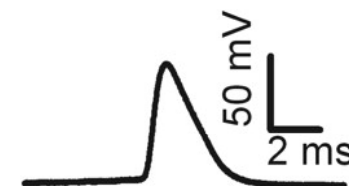
Soma



C

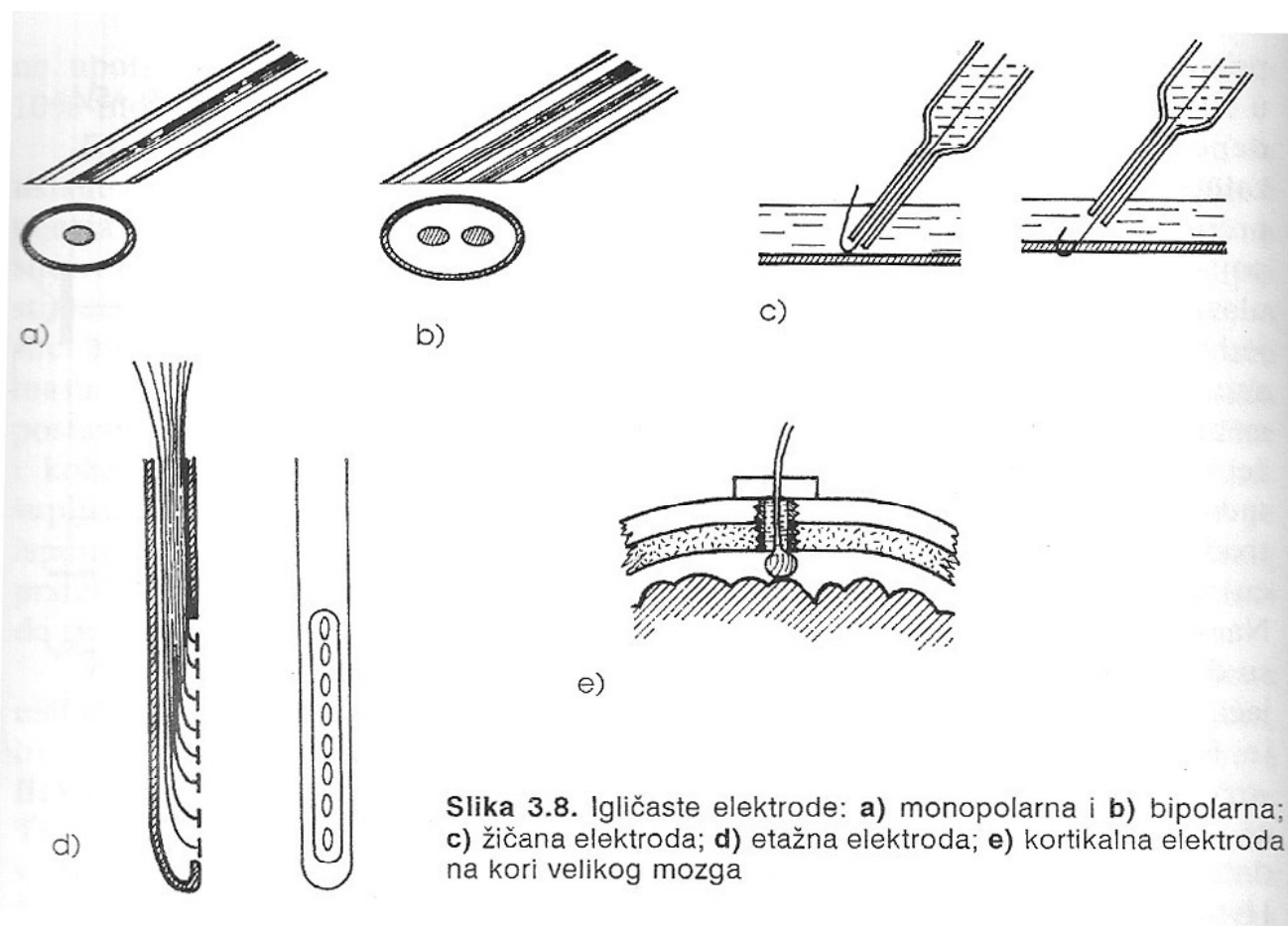


Soma



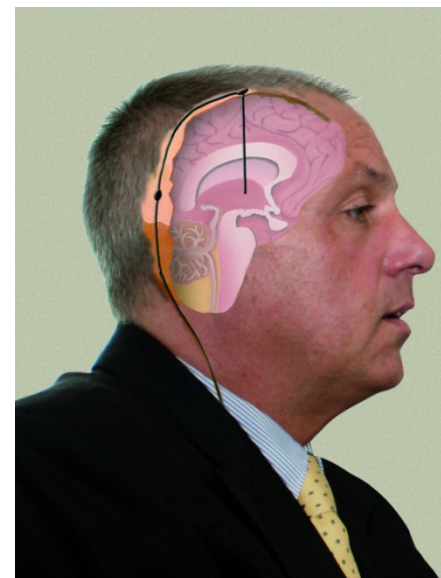
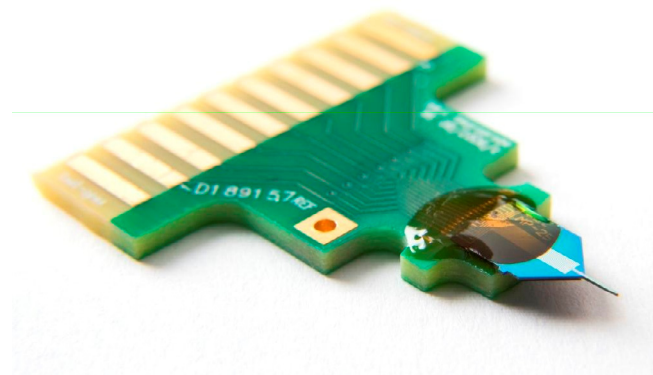
Potkožne elektrode

- Koriste se npr. za mjerenje napona na pojedinim mišićnim vlaknima ili skupinama neurona na mozgu.



Potkožne elektrode

- Primjer Potkožnih elektroda koje se koriste za duboku stimulaciju mozga (engl. "deep brain")
- Primjer implantacije elektroda za "deep brain" stimulaciju



Potkožne elektrode

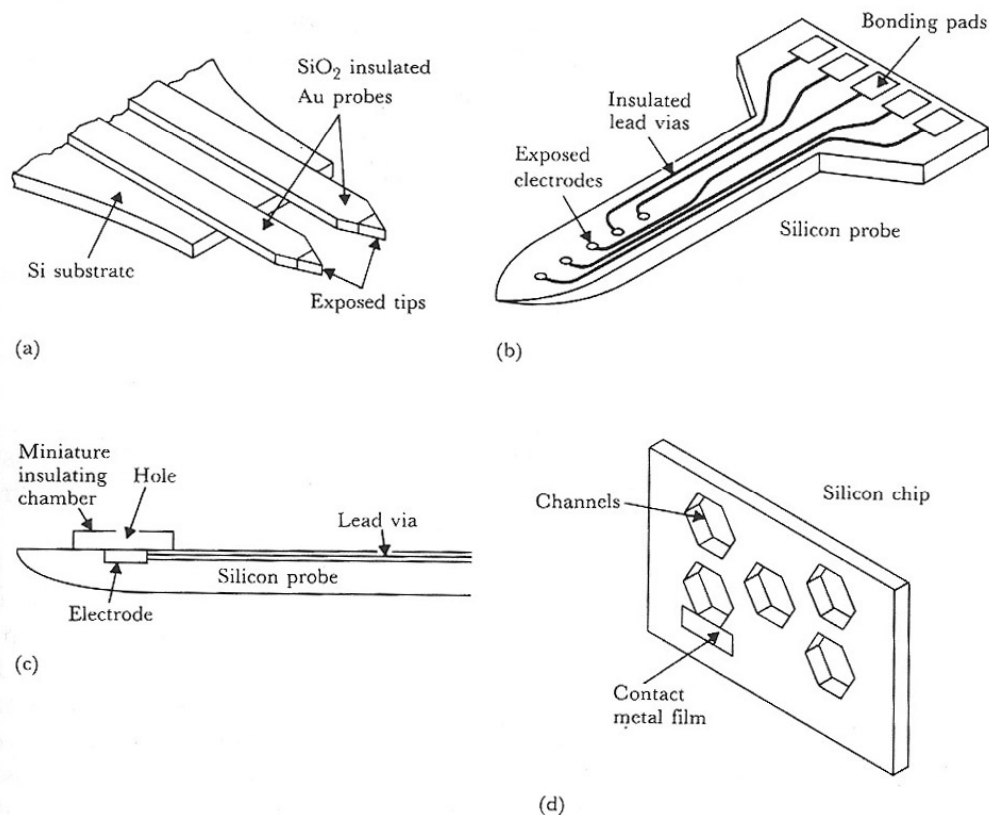
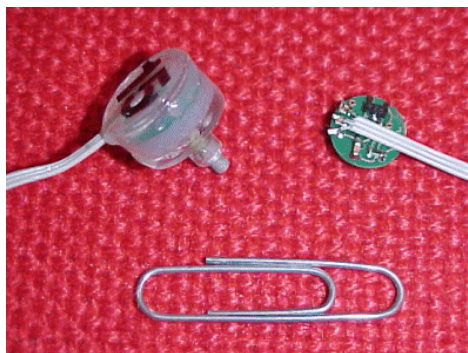


Figure 5.25 Different types of microelectrodes fabricated using microelectronic technology (a) Beam-lead multiple electrode. (Based on Figure 7 in K. D. Wise, J. B. Angell, and A. Starr, "An Integrated Circuit Approach to Extracellular Microelectrodes." Reprinted with permission from *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 1970, BME-17, pp. 238–246. Copyright © 1970 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers.) (b) Multielectrode silicon probe after Drake *et al.* (c) Multiple-chamber electrode after Prohaska *et al.* (d) Peripheral-nerve electrode based on the design of Edell.

Površinske EEG elektrode

- EEG elektrode (pasivne i aktivne)

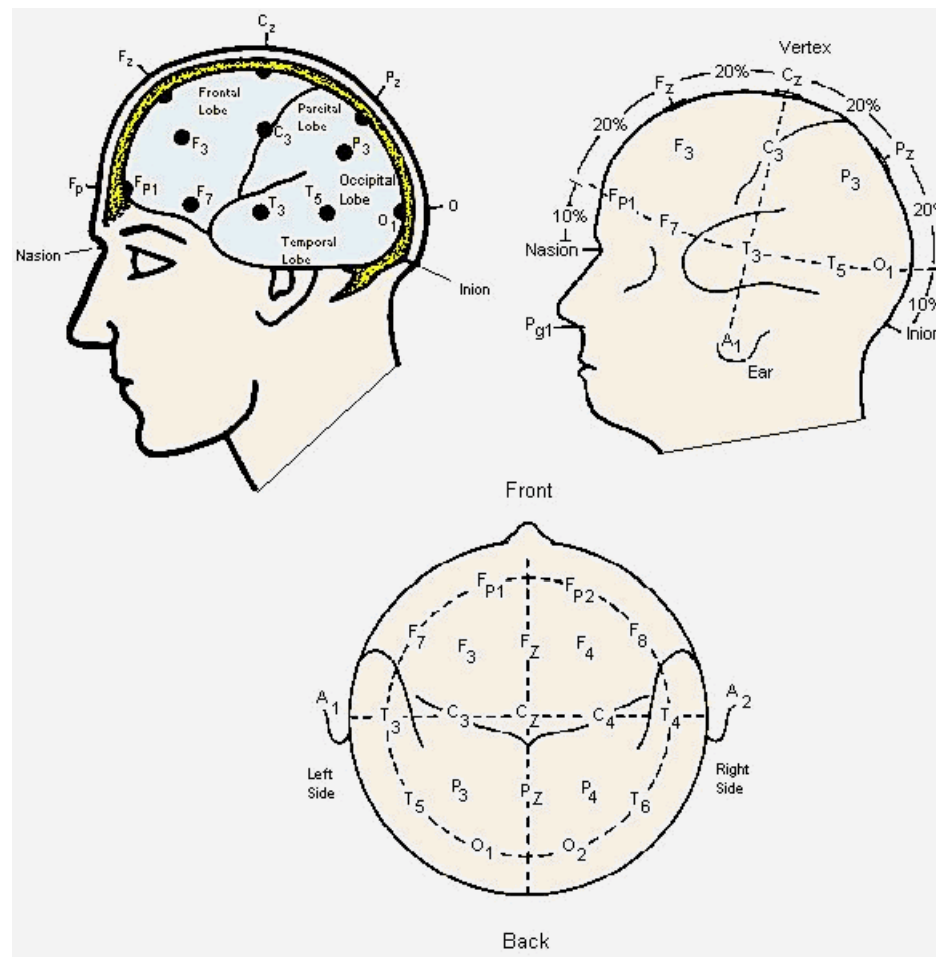


- Vodljiva pasta i gel



Površinske EEG elektrode

- 10-20 sustav – pravila za postavljanje EEG elektroda



Snimanje EEG-a



Površinske EKG elektrode

➤ Samoljepljive:



➤ Usisne
(pumpica za
usisavanje
zraka):

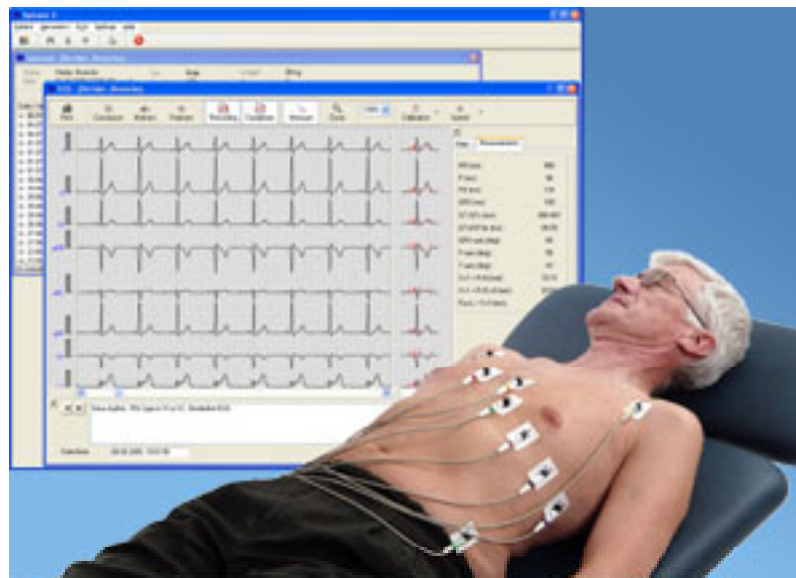


Površinske EKG elektrode

- Elektrode za ekstremitete (ruke i noge):



- Snimanje EKG-a



EMG elektrode

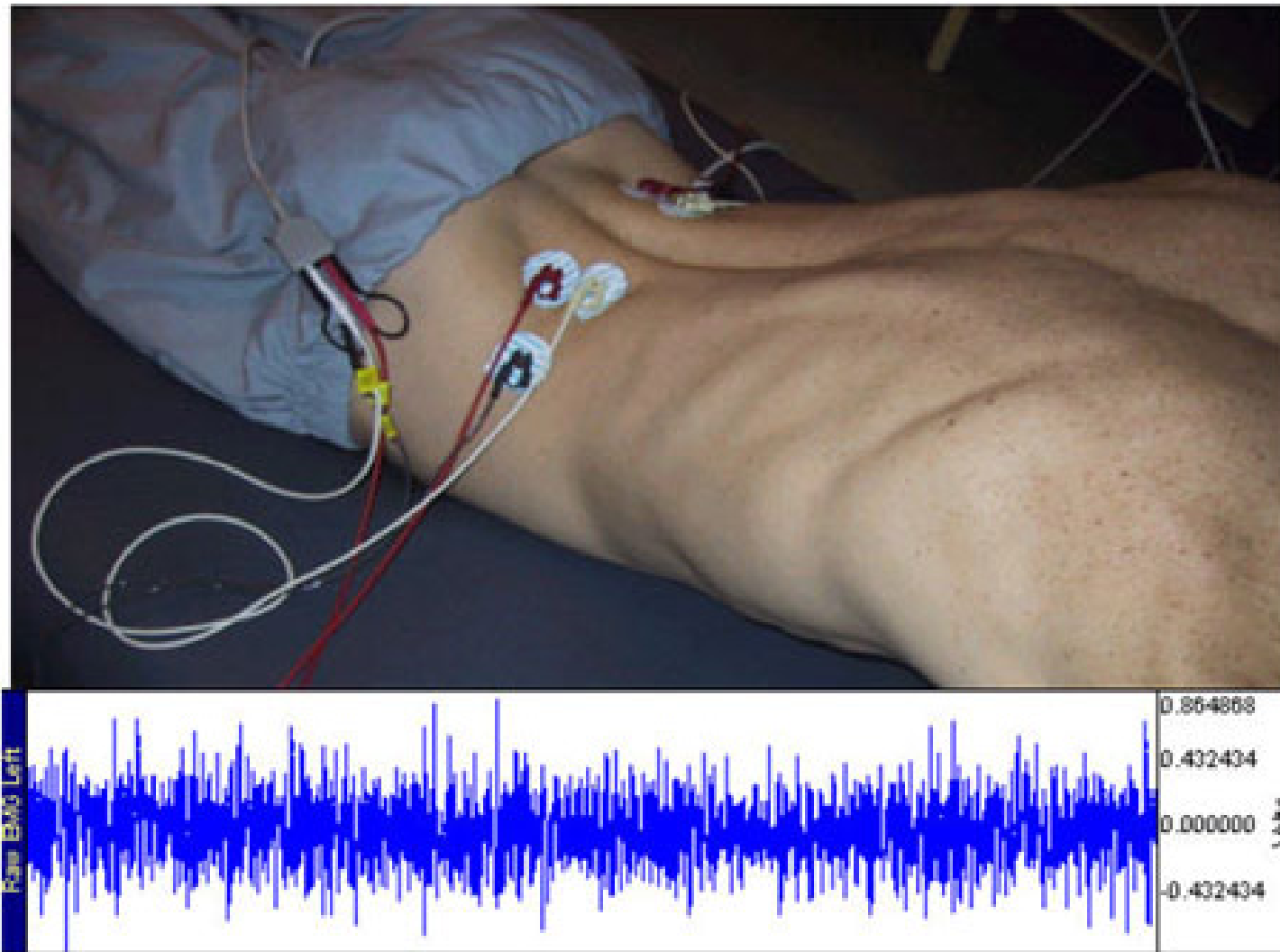
➤ Površinske:



➤ Potkožne:

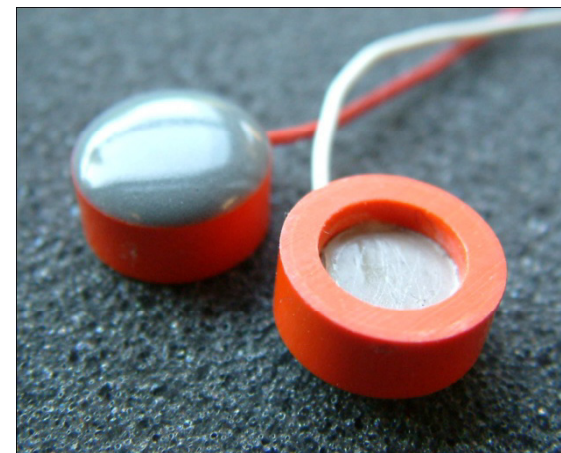


Snimanje EMG



Površinske elektrode - još primjera

➤ EOG elektrode:



➤ Elektrode za elektrostimulaciju



Literatura:

- A. Šantić, Biomedicinska elektronika, Šk. knjiga, 1995, Zagreb, str. 69-90
- <http://soundlab.cs.princeton.edu/learning/tutorials/sensors/node10.html>