



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТМАН ЗА ФИЗИКУ



Електродермална активност и полиграф на *ВІОРАС* систему

- мастер рад -

Ментор:
Проф. др Оливера Клисурић

Студент:
Смиљка Тодоров
184 m/14

Нови Сад, септембар 2015.

Садржај:

1. Увод	4
1.1 Електрични потенцијал ћелијске мембране у стању мировања	4
1.2. Нервни акциони потенцијал.....	6
1.3 Ритмичност	10
1.4 Мембрански и акциони потенцијал у мишићним влакнима	11
1.4 Биоелектрични потенцијал срца	11
1.5 Биоелектрични сигнали срца	12
2. Електроде	14
2.1. Оксидо – редукциони процеси.....	14
2.2. Процеси размене оптерећења између метала и електролита	14
2.3 „OFFSET“ потенцијал на контакту метала и јонског раствора.....	16
2.4. Електрични модел електроде	20
2.5 Карактеристике електродног „offset“ потенцијала.....	22
2.6. Површинске електроде	23
2.7. Електроде за уземљење.....	27
2.8. Иглени електроде.....	27
2.9. Интерне електроде	28
2.10. Микроелектроде.....	29
2.11. Електроде за стимулацију.....	30
2.12. Имплантибилне електроде	30
3. Мерење биопотенцијала.....	32
3.1. Биоелектрична својства коже.....	32
3.2 Контакт електрода – кожа	33
4. Електрокардиографија ЕКГ	40
4.1. Ритмичка активност срца	40
4.2. Побудно – спроводни апарат срца.....	40
4.3. Механизам мерења срчане активности – електрокардиографија.....	42
4.4. Електрицитет и срце	42
4.5. ЕКГ уређај	43
4.6. Распоред електрода при мерењу ЕКГ сигнала	45

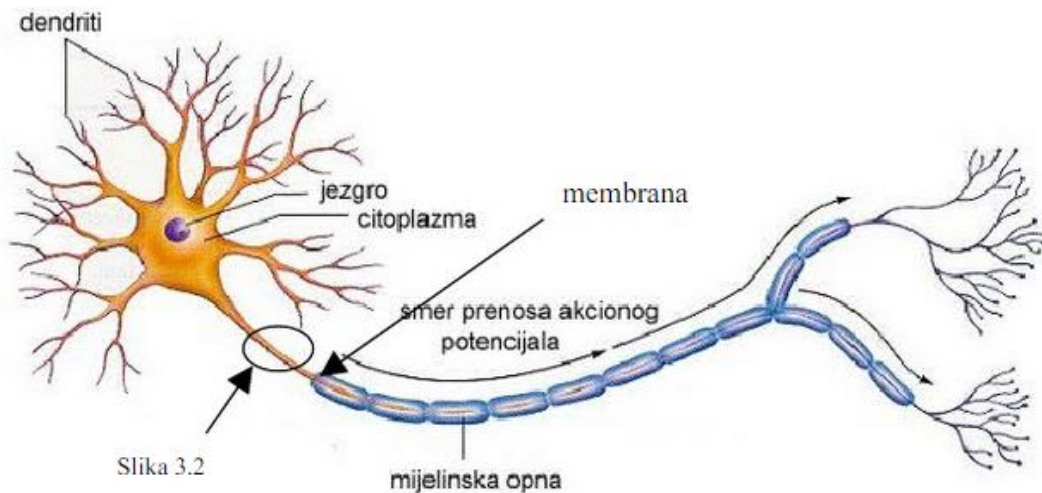
4.7.	Векторски кардиограм	47
4.8.	ЕКГ сигнал	47
4.9.	Артефакти при снимању	48
4.10.	Примена ЕКГ – а	49
5.	Електродермална активност (ЕДА) и респираторни циклус	50
5.1	Електродермални одговор – ЕДР: BSR-Basic Skin Response	54
5.2	Систем органа за дисање	54
5.2.1.	Плућа	56
5.2.2.	Вентилација плућа и плућни волумен	57
5.2.3.	Размена гасова у плућима и ткивима	57
5.2.4.	Физика дисања	57
6.	Теорија боја	59
6.1.	Гетеова теорија боја	61
6.2.	Перцепција боја	63
6.2.1.	Савремена теорија боја	64
6.2.2.	Психофизичке карактеристике боја	66
6.2.3.	RGB модел боја	67
6.3.	Подела боја	70
6.4.	Дејство боја	72
6.4.1.	Психолошко дејство боја	73
7.	Експериментални део	75
7.1.	Увод	75
7.2.	ЕДА и полиграф на ВЈОРАС систему	77
7.2.1.	Експериментални циљеви	77
7.2.2.	Екперимент	77
7.2.3.	Резултати	79
7.2.4.	Дискусија	85
8.	Закључак	85

1. Увод

Човеков организам није једноставна творевина. То је сложени склоп органа у коме се одвија јединствен процес. Сваки сегмент има своју функцију; остварен је изванредан склад свих делова организма. Небројане студије посвећене су физиологији човековог организма. Столећима се изучава, али се не може рећи да је наука рекла коначну реч.

1.1 Електрични потенцијал ћелијске мембране у стању мировања

Скоро свака ћелија у организму има електрични потенцијал. Подразумева се да је потенцијал изван ћелије (течности у којој се налази ћелија) 0 V и референтни је при одређивању потенцијала ћелије. Две средине раздваја ћелијска мембрана.

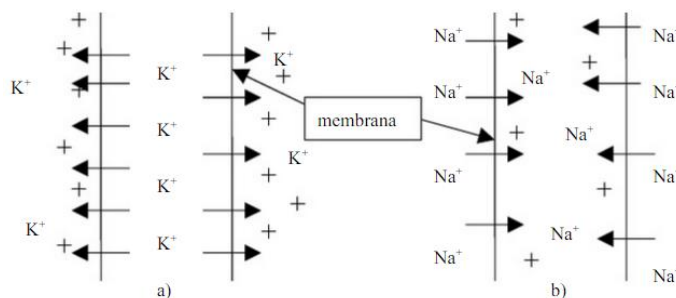


Слика 1.1. Нервна ћелија (неурон)

Основу за стварање мембранског потенцијала чини селективна пропустљивост мембране за различите јоне. То значи да мембрана једну врсту јона пропушта да пролази из једне средине у другу, док друге не. Течност у ћелијама и изван њих је раствор електролита који садржи од 150 до 160 mmol/l позитивних и исто толико негативних јона. Ако је у унутар мембране висока концентрација једне врсте јона, а споља ниска и при томе мембрана пропустљива за ту врсту јона, јони дифундују ван мембране. Пошто су су јони носиоци позитивног (негативног) електричног наелектрисања, изласком из до тада неутралне средине, чине унутрашњост мембране електрично негативном (позитивном). Тако је и са јонима који дифундују у унутрашњост. Они утичу како на потенцијал ћелије унутар мембране, тако и на потенцијал средине у којој се налази ћелија.

На мембрански потенцијал доминантно утичу три врсте јона: јони калијума K^+ , натријума Na^+ и калцијума Ca^{+2} . Плус или минус изнад ознаке хемијског елемента скраћеница је за + 1 или – 1 и представља оксидациони број, тј. број електрона које атом отпушта (+), односно прима (–), приликом раскидања јонских веза у молекулу.

Изласком K^+ јона из ћелије, при чему у унутрашњости остају непокретни јони, чине унутрашњост електронегативном. У року од приближно милисекунде разлика потенцијала постаје довољно висока да блокира даље дифундовање јона калијума.



Слика 1.2. Мембрана је пропустљива за јоне калијума (а) и натријума (б) и дозвољава њихово дифундовање у област мање концентрације, што се и одвија до тренутка достизања потенцијала који привлачном силом спречава даље дифундовање

Код нормалног дебелог мијелинског нервног влакна мембрански потенцијал при коме се блокира дифузија калијума, износи – 94 V. Еквивалентно изласку јона калијума, дифундују јони натријума од споља ка унутра. У овом случају се потенцијал унутрашњости повећава, а не смањује, јер позитивно оптерећење јона натријума томе доприноси. Граница при којој се прекида овај процес је на мембранском потенцијалу од 61 mV.

Величина потенцијала који спречава даљу нето дифузију неког јона у било ком смеру кроз мембрану се назива Нернстов потенцијал за тај јон. Ова величина зависи од односа концентрације јона у те две средине. Што је однос већи, већи је и Нернстов потенцијал за тај јон:

$$EMS = \pm 61 \log \frac{\text{koncentracija spolja}}{\text{koncentracija unutra}}$$

Нернстова једначина се односи на створену електромоторну силу између две средине. Она настаје као резултат дифузије једног типа јона оксидационог броја 1. Уколико су јони, који се посматрају, негативног наелектрисања, узима се предзнак +, а ако нису предзнак –. То се догађа, под претпоставком да је средина у којој се ћелија налази (екстрацелуларна течност) на референтном, нултом потенцијалу.

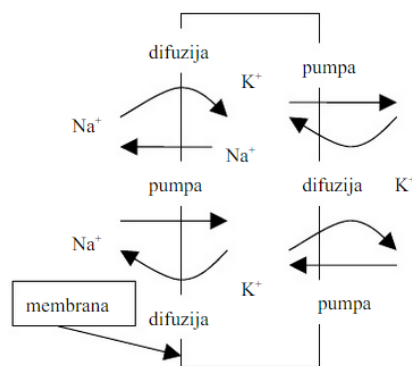
Високу разлику концентрације јона натријума и калијума на супротним странама мембране узрокују јаке натријум – калијумове пумпе, које непрекидно извлаче јоне

натријума из ћелије, а јоне калијума пумпају у ћелију. За ову пумпу кажемо да је електрогена, јер се више позитивног наелектрисања пумпа напоље него унутра (три Na^+ јона ван за свака два K^+ јона унутра). Ове пумпе постоје у свим ћелијама организма. Од интереса су и јони хлора (Cl^-) при мерењу мембранског потенцијала. За Cl нема пумпе која би створила разлику концентрације јона Cl^- , па је расподела ових јона у потпуности одређена величином мембранског потенцијала.

На мембрански потенцијал утичу заједно и јони Na^+ и јони K^+ . Ниво мировног, нормалног, мембранског потенцијала нерва је -90 mV . Однос броја K^+ јона, унутра према споља је 35 према 1, па је одговарајући Нернстов потенцијал -94 mV . Овај однос за Na^+ је 1 према 10, а одговарајући Нернстов потенцијал $+61 \text{ mV}$.

Како ови потенцијали утичу на коначну суму?

Иако је мембрана пропустљива и за K и за Na ипак постоји отпор који мембрана пружа проласку јона и тај отпор није исти за различите јоне, тј. пропустљивост за Na^+ и за K^+ је различита. Пропустљивост за јоне је напонско зависна захваљујући додатним напонско зависним каналима натријума и калијума. Код нормалног нервнoг влакна, пропустљивост за K је око 100 пута већа него за Na . Потенцијал који потиче од јона K , много више утиче на укупну суму него потенцијал као последица јона Na . Укупна сума потенцијала, узимајући у обзир однос пропустљивости, износи -86 mV . Додатних -4 mV јесте допринос $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ пумпе.



Слика1. 3. На мембрански мировни потенцијал утичу Нернстов потенцијал јона натријума и калијума и натријум-калијумова пумпа

1.2. Нервни акциони потенцијал

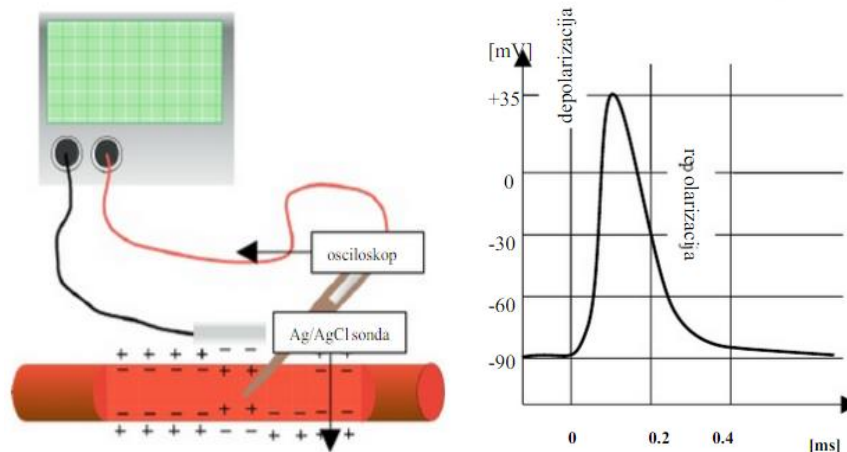
Нервни сигнали се преносе акционим потенцијалима. То су брзе промене мембранског потенцијала (импулса). Способност стварања електро – хемијског импулса ћелије или влакна је ексцитабилност. Једном изазван, акциони потенцијал се преноси дуж нервнoг влакна. Стадијуми акционог потенцијала су:

- мировање;
- деполаризација;
- реполаризација.

Мировање је уобичајено стање мембране. Мембрански потенцијал износи око -90 mV. Деполаризација је стање мембране када се нагло повећа пропустљивост за Na^+ јоне (од 500 до 5000 пута), отварањем додатних натријумових канала на мембрани. Na^+ јони лавински улазе споља повећавајући мембрански потенцијал до 35 mV за дебела нервна влакна. Деполаризација се односи на нагле промене унутар ћелије. То значи да ћелија подлеже драматичним електричним променама. Већина ћелија, нарочито оне које чине високо организована ткива, унутрашње окружење одржавају негативним у односу на окружење ћелије које је позитивно. У процесу деполаризације, негативно наелектрисана ћелија из унутрашњости за веома кратко време постаје позитивна. Помак од негативног ка позитивном ћелијском окружењу омогућава пренос електричних импулса, како унутар ћелије, тако у неким случајевима и између ћелија. Ова функција деполаризације је веома битна због комуникације између ћелија, као и код целокупне функције организма. Деполаризација представља смањење или повећање мембранског потенцијала, а може да потиче од:

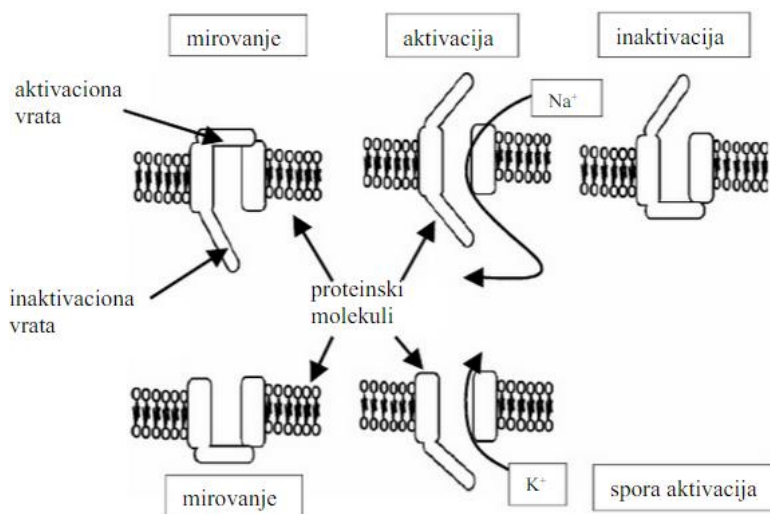
- уласка + наелектрисања у ћелију (Na, Ca)
- спречавања изласка K јона из ћелије.

Реполаризација је стање мембране, када долази до смањења мембранског потенцијала, тј. враћање у стање мировања. Натријумови канали се затворе, а додатни калијумови канали отворе и K^+ јони појачано дифундују споља.



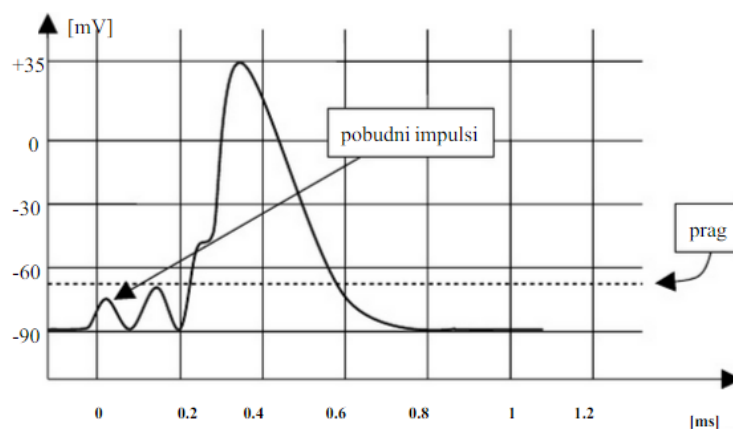
Слика 1.4. Типичан акциони потенцијал снимљен апаратуром са слике

Акциони потенцијал омогућавају напонско зависни Na и K канали који су приказани на следећој слици.



Слика 1.5. Понашање натријумових (горе) и калијумових канала (доле) током акционог потенцијала

Посматрајмо шта се дешава ако споља (напонским извором), принудно повећава потенцијал мембране. Праг промене пропустљивости мембране јесте потенцијал при коме долази до отварања активационих врата (активације) Na канала. Код дебелог нервног влакна праг износи између -50 mV и -70 mV .

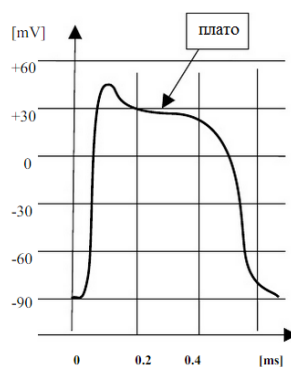


Слика 1.6. Утицај спољашње стимулације на мембрански потенцијал

Повећањем потенцијала на вредност, нижу од прага, не долази до активације натријумових канала. У супротном, повећање потенцијала изнад прага изазива активацију натријумових канала. Јони натријума улазе у ћелију и подижу ниво потенцијала. Процес је са позитивном повратном спрегом: уласком натријумових јона, расте ниво потенцијала, изазива активацију Na канала који још нису отворени. Тако више јона улази и у круг. У истом тренутку, када се отворе активациона врата, почиње затварање инактивационих врата. Овај процес је спор, па се натријумови канали затворе тек после $0,1 \text{ ms}$. Поновно отварање активационих врата је могуће након повратка у стање мировања. Повећање потенцијала од -70 mV ка 0 V , отвара калијумове канале. Као и затварање

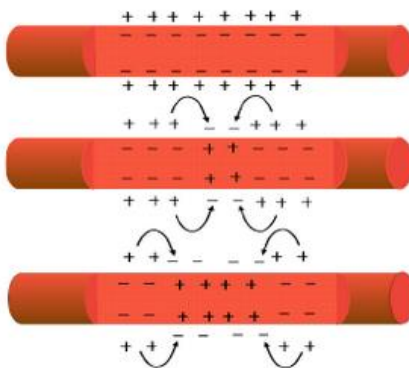
инактивационих врата натријумових канала и овај процес је спор. Калијумови канали се отварају после 0,1 ms, што одговара затварању натријумових канала. K^+ јони лавински излазе напоље, а потенцијал мембране опада на вредност потенцијала у стању мировања.

Код срчаног мишића и глатких мишића поред Na^+ и K^+ канала, важну улогу имају калцијумови јони (Ca^{+2}) и калцијумови канали. При активацији отварају се канали натријума, али и калцијума. Њихово отварање је споро, 10 до 20 пута спорије од натријумових канала. Резултат је појава заравњеног дела и ширења акционог импулса. Заравњени део се назива плато. Плато може изазвати и врло споро отварање калијумових канала. Једном изазван, акциони потенцијал се шири дуж мембране, јер акциони потенцијал повећава мембрански потенцијал околине, а не само места где се појавио. Пренос деполаризације дуж нервног (мишићног) влакна јесте нервни (мишићни) импулс.



Слика 1.7. Акциони потенцијал из Пуркињеновог влакна срца

Уколико дође до повећања потенцијала изнад прага, појавиће се акциони потенцијал. Повећање потенцијала, који не прелази праг, пролази без утицаја на мембрану. Ово је познато под принципом "све или ништа".

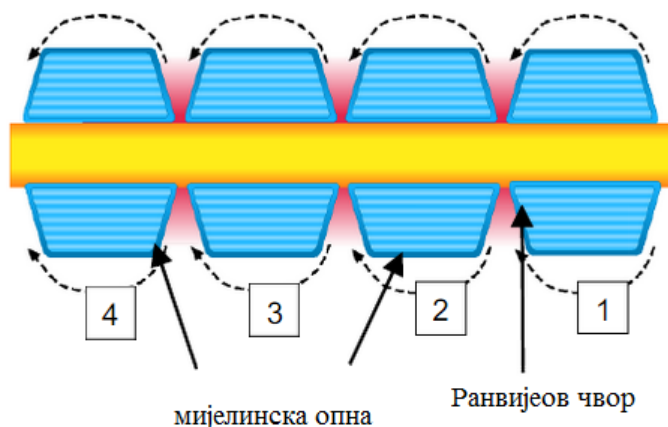


Слика 1.8. Једном створен, акциони потенцијал се шири у свим смеровима, а стрелице показују локални ток електричног поља

На слици 1.9 се види да мембрану нерва окружује мијелинска опна. Опна је добар изолатор и смањује ток јона кроз мембрану око 5000 пута. Места на којима аксон није

прекривен милијенском опном представљају Ранвијерове чворове, где јони пролазе кроз мембрану, како је раније описано. Акциони потенцијал се појављује само на чворовима и његов пренос је скоковит, са чвора на чвор. Овакав начин преноса акционог потенцијала се назива салтаторна кондукција и значајна је јер:

- повећава брзину преноса импулса,
- омогућава реполаризацију са малим трансфером јона, чиме се убрзава процес реполаризације,
- смањује губитак јона ћелије (око 100 пута).

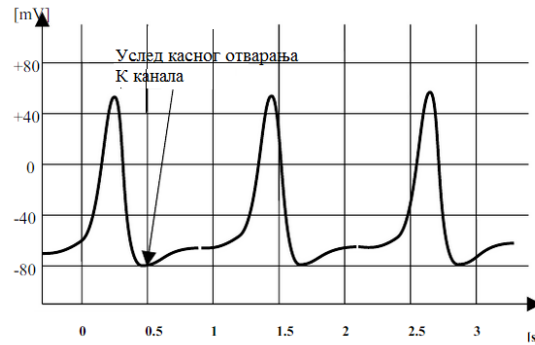


Слика 1.9. Пропагација акционог потенцијала салтаторном кондукцијом

1.3 Ритмичност

Репетитивно, самоиндукујуће паљење или ритмичност се нормално појављује у срцу, већини глатких мишића, неуронима централног нервног система. Ова ритмичка паљења узрокују срчани ритам, перисталтику црева и неуронске догађаје као што је контрола дисања. Да би било могуће самоиндукујуће паљење, мембрана мора бити довољно пропустљива за натријумове или за калијумове јоне, да би мембрански потенцијал у мировању био од -60 до -70 mV. Овај ниво потенцијала није довољан да држи затворене све натријумове и калијумове канале. Концентрација натријумових јона расте и самим тим се повећава и мембрански потенцијал. Овим се изазива акциони потенцијал. Реполаризацијом мембрански потенцијал се враћа на почетну вредност.

Битну улогу овде имају калијумови канали који се, за разлику од осталих, отварају врло касно, пред крај акционог потенцијала. Резултат њиховог кашњења је знатно већа негативност мембранског потенцијала на крају процеса реполаризације (близу Нернстовог потенцијала за калијум). Затварањем калијумових канала се подиже ниво мембранског потенцијала и почиње нови акциони потенцијал.



Слика 1.10. Ритмички акциони потенцијали, слични онима који се региструју из ритмичког контролног центра срца

1.4 Мембрански и акциони потенцијал у мишићним влакнима

Акциони потенцијал у мишићним влакнима, изазива њихово контраховање. Постоје три су типа мишића: срчани, скелетни (нпр. бицепс) и глатки (нпр. мишићи пробавног тракта). Мембрански и акциони потенцијал за скелетна и глатка мишићна влакна нису истих карактеристика. Влакна скелетне мускулатуре се подражују акционим потенцијалом дебелих, мијелинизованих нервних влакана и све што је речено за потенцијал нерва, важи и за њих са одређеним разликама. Скелетна, мишићна влакна немају мијелинску опну, мембрански потенцијал у мировању износи око -90 mV , акциони потенцијал траје око 5 пута дуже, него у дебелим мијелинизованим нервним влакнима, а брзина провођења акционог потенцијала је око 15 пута већа.

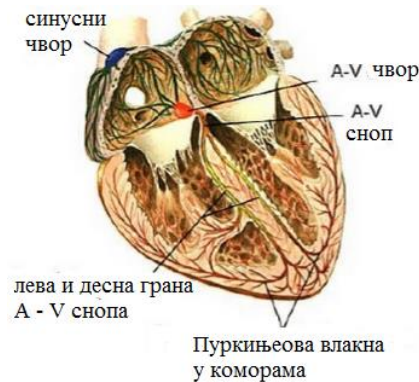
Код глатких мишићних влакана, мембрански потенцијал у мировању износи од -50 mV до -60 mV , а акциони потенцијал се јавља у два облика, шилтати потенцијал и са платоом. Прва врста је слична нервном акционом потенцијалу, са разликом да је време трајања импулса 10 до 50 ms. Плато код друге врсте продужава време контракције мишића, која може да траје и до 30 секунди.

1.4 Биоелектрични потенцијал срца

Срце поседује посебан електрогени систем за регулацију рада. Овим је обухваћено стварање импулса за контраховање мишићних влакана и провођење импулса до појединих делова срца у правилним временским интервалима. Тиме је обезбеђен правилан рад срца, који подразумева контраховање предкомора за $1/6$ секунде пре контраховања комора и тиме ефикасно стварање притиска. Електрогени систем срца чине:

- синусни чвор,
- интернодусни путеви,

- A–V чвор (атриовентрикуларни чвор),
- A–V сноп (садржи групу Пуркињеових влакана),
- лева и десна страна снопа Пуркињеових влакана.



Слика 1.11. Електрогени систем срца

Синусни чвор је мала елипсоидна трака специјализованог мишића ширине 3 mm, дужине 15 mm, а дебљине 1 mm. Синусни чвор има особину ритмичности. Периодично ствара акционе потенцијале и прослеђује их остатку електрогеног система. Пошто регулише срчани ритам, назива се и примарни пејсмејкер.

Сама влакна синусног чвора поседују канале отворене за натријумове јоне. Уласком, натријумови јони повећавају ниво мембранског потенцијала и изазивају акциони потенцијал. Ово је основа за самоиндукујуће, репетитивно окидање синусног чвора. Интернодусни путеви, брзином од 1 m/s, преносе акциони потенцијал до A–V чвора. A–V чвор и њему придружена проводна влакна успоравају срчане импулсе, обезбеђујући предкоморама довољно времена да испразне свој садржај. Пуркињеова влакна воде импулсе од A–V чвора кроз A–V сноп до мишићних влакана комора. Ова влакна су веома дебела и проводе акциони потенцијал много брже него влакна A–V чвора (150 пута брже). Доласком до мишићних влакана коморе, акциони потенцијал изазива контраховање влакана и њима се даље преноси. Захваљујући Пуркињеовим влакнима импулс стигне са 0,03 до 0,06 секунди кашњења у један крај мишића коморе у односу на други па се коморе контрахују готово истовремено. Тренутно контраховање је врло важно за правилан рад срца.

1.5 Биоелектрични сигнали срца

Биоелектрични сигнали органа (ткива) су резултат активности нервних и мишићних влакана тог органа (ткива). Они се снимају и над њима се врши обрада у циљу проучавања понашања органа. На пример, мозак поседује велики број неурона и посматрање сигнала мозга јесте посматрање појединих целина мозга у циљу одређивања

реакције на одређену побуду (нпр. звук, светлост). Други начин је посматрање фреквентног спектра свих сигнала мозга у циљу утврђивања синхронизованих промена биопотенцијала. Биоелектрични сигнали ока су последица акционих потенцијала мишића чула вида и активности рецептора ока (штапићи и чепићи). Дисциплине разврстане према врсти органа које проучавају су: електрокардиографија (ЕКГ), електромиографија (ЕМГ), електроенцефалографија (ЕЕГ), електроретинографија (ЕРГ), електроокулографија (ЕОГ), електрогастрографија (ЕГГ).

ЕКГ се бави активностима срчаног мишића. ЕМГ је дисциплина која проучава биоелектричне сигнале произведене неуралном стимулацијом скелетних мишића. ЕЕГ прати активности неурона мозга, ЕРГ активности оптичких нерва и рецептора, ЕОГ активности мишића чула вида и ЕГГ активностисистема органа за варење.

2. Електроде

Биопотенцијал је последица различите концентрације јона у срединама раздвојеним ћелијском мембраном, а акциони потенцијал је поремећај стања мировања. Електроде омогућавају посматрање сигнала, последице промена биопотенцијала. Не проводе само метали струју, већ и неке врсте предајника, код којих се на бази оксидо–редукционих процеса врши трансфер електричног оптерећења између јона са једне стране и електрона са друге стране (проводник). У овом делу рада биће више речи о начину рада електрода и њиховим врстама.

2.1. Оксидо – редукциони процеси

Већ смо напоменули да су органске течности у ћелији и изван њих у суштини раствори електролита садржаја од 150 до 160 mmol/l позитивних и исто толико негативних јона. Према томе спој електрода – ткиво јесте спој метал – електролит. На оваком споју уз проток струје, су неминовни процеси оксидације и редукције. Оксидациони број представља број електрона које неки елеменат користи за грађење хемијске везе са неким другим елементом. Овде је реч о јонским везама, па оксидациони број представља број електрона које атом отпушта, односно прима. На пример у једињењу $\text{Na}^{+1}\text{Cl}^{-1}$, натријум при грађењу ове јонске везе губи електрон и његов оксидациони број је +1, док хлор прима електрон (–1). У току хемијских реакција долази до повећања или смањења оксидационог броја. Оксидација је процес повећања оксидационог броја, а редукција смањење оксидационог броја. Према томе оксидација је процес који се у овом случајом може представити следећим хемијским реакцијама:



Атом кисеоника је при оксидацији добио два електрона. Редукција је:



Атом живе је при редукцији добио два електрона.

2.2. Процеси размене оптерећења између метала и електролита

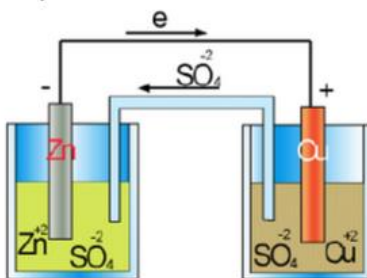
Ако се у посуду са раствором ZnSO_4 урони плоча од цинка, а у други суд са раствором CuSO_4 урони плоча од бакра и посуде повежу као на слици 2.1, добиће се галвански елемент. У десној посуду, у раствору се налазе јони бакра и јони сулфата SO_4^{-2} (настали раскидањем јонских веза), а у левој јони цинка и сулфата. Електрони плоче бакра

реагују са Cu јонима раствора у десном суду. Неутрализацијом, атоми бакра електролита се таложе на плочи бакра, остављајући припадајуће јоне SO_4^{-2} у раствору. Поједини атоми цинка, који су остали без електрона прелазе у раствор електролита, рекомбинују се и поново прелазе у чврсто стање. Ови процеси су оксидо – редукциони и могу се представити следећим хамијским реакцијама:



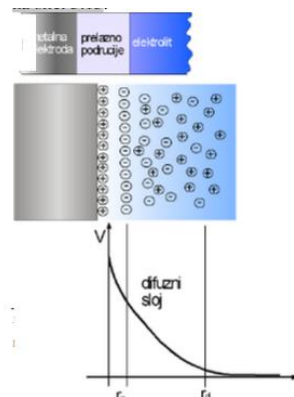
Ознаке у заградама представљају агрегатно стање (s – чврсто, aq – течно) средине у којој се налазе елементи, док двоструке стрелице означавају оксидо – редукционе процесе.

Дакле, део атома плоче цинка остаје без електрона (оксидација) и прелазе у електролит (једна стрелица), а у раствору постају неутрални (редукција) и сједињују се са плочом (друга стрелица). Са баком је еквивалентна ситуација.



Слика 2.1. Галвански елемент, два суда спојена проводником и савијеном цеви (електролитички мост). А проводником се врши размена електрона, а мостом размена јона SO_4^{-2}

На граници између метала и електролита је створена област просторног наелектрисања. Област чине два подручја, супротног наелектрисања. Прво подручје је танак слој металних јона који се налазе уз површину електроде. Друго подручје се састоји од набоја компактнoг слоја и много ширег дифузног слоја, као на слици 2.2.



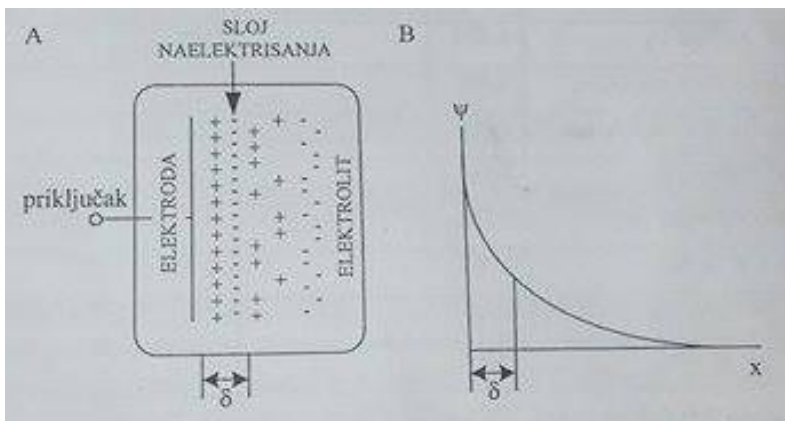
Слика 2.2. Гранична област просторног наелектрисања

Крива на слици 2.2. приказује расподелу електростатичког потенцијала прелазног подручја у зависности од удаљености од електроде. Параметар r_c представља удаљеност компактног слоја од електроде, а r_d дефинише ширину дифузног слоја. Парови Zn/Zn^{+2} и Cu/Cu^{+2} се називају редокс парови или плућа ћелије. Између плоча је створена електромоторна сила, па се поставља питање: Колики је допринос полућелија електромоторној сили? Пошто нема смисла мерити потенцијал једног суда са припадајућим садржајем у односу на неки референтни напон, узима се референтна електрода – нормална (стандардна) водонична електрода. Спајањем суда редокс пара са стандардном водоничном електродом, добија се галвански елемент, чију је електромоторну силу лако мерити. Ова разлика потенцијала се назива стандардни ред-окс потенцијал (потенцијал полућелије).

2.3 „OFFSET“ потенцијал на контакту метала и јонског раствора

Ако посматрамо метал који је потопљен у јонски раствор (електролит), уочавају се појаве које су од посебног значаја за снимање биопотенцијала. Наиме, постоји тежња јона метала да се „растворе“ у електролиту, као и јона из електролита да се комбинују са јонима метала. Коначни ефекат ове тежње је стварање слоја јона који показују особине електрохемијског извора.

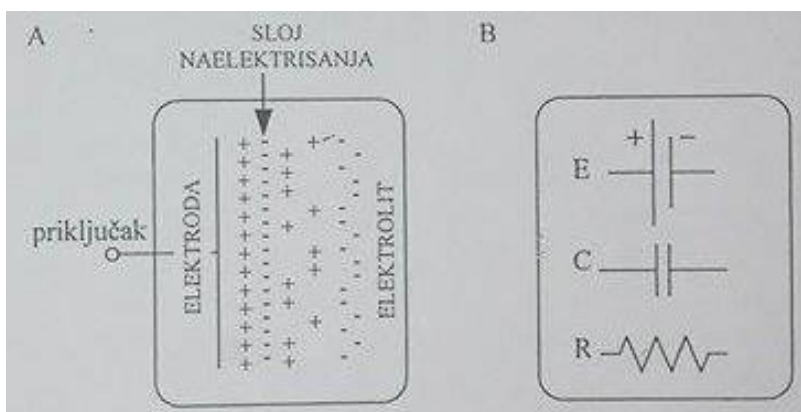
Потапањем метала у јонски раствор ствара се слој једне врсте наелектрисања непосредно уз метал, а наелектрисања супротног знака непосредно уз електролит (јонски раствор), (слика 2.3. А).



Слика 2.3. Расподела потенцијала у електролиту

Полућелијски потенцијал ће у електролиту створити потенцијал који се смањује са растојањем од метала (слика 2.3. В). Овај двослој је само мерљив на јонском нивоу. Парсон (1964) је описао електроде разматрајући двослој, односно контакт јонског

раствора и метала. Он је дефинисао „идеално поларизљиву“ электроду као метал који је превучен опном која не дозвољава пренос електрицитета из јонског раствора на электроду и обрнуто. Електроду, код које је пренос електрицитета могућ без ограничења назвао је „идеално неполаризљива“ електрода. У реалности, електроде су или блиске поларизљивим или неполаризљивим. Интерфејс електроде и електролита је извор електромоторне силе са унутрашњом импедансом са резистивно – капацитативним карактеристикама (слика 2.4. В).



Слика 2.4. Модел контакта метал – електролит

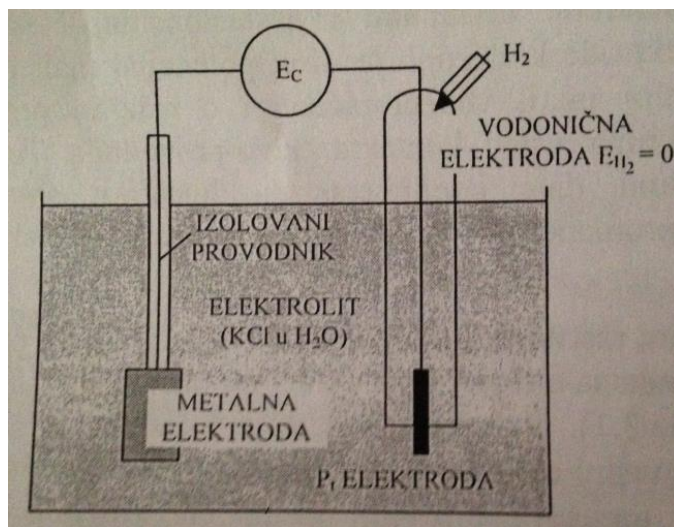
Потенцијал полућелије није константан зависи од односа концентрације оксидованог и редукованог облика супстанце, температуре и особина раствора електролита. У споју електрода – електролит, битно је да потенцијал полућелије буде што мањи, јер уноси грешку приликом мерења. Потенцијал полућелије Cl^-/AgCl је међу најнижим (погледати табелу 1) и релативно је константан. Оваква електрода није токсична, јер је сребро – хлорид тешко топив у хлоридном раствору, па је и број слободних атома сребра, који би разарали ткиво врло мали. Знамо да је сребро добар проводник. Све ово чини электроду сребро/сребро-хлорид најчешћим избором.

Ако се у посуди са електролитом (нпр. KCl у H_2O) налазе два различита метала на њиховим крајевима ван раствора може се измерити напон. Ако је нпр. напон око 0,4 V, а ако је једно од метала сребро (Ag), а други бакар (Cu) тада је овај напон последица појава на контакту сребра, односно бакра са електролитом. Измерени напон је алгебарски збир два полућелијска потенцијала. Вредност полућелијског потенцијала зависи од неколико фактора: врсте електролита, концентрације јона у електролиту, а зависи и од неких физичких особина (облик електроде, чистоћа материјала од ког је електрода направљена, итд). Тачна вредност полућелијских потенцијала је за вредности око 100 mV различита од вредности коју меримо у физиолошкој средини (табела 2.1), а зависи и од температуре на којој се мери.

Табела 2.1. Приближне вредности „полућелијских“ потенцијала и температурски коефицијенти [mV/K] у 0,9% KCl у H₂O

Полућелија	Редукциона реакција	Полућелијски потенцијал [V]	Температурски коефицијенти [mV/K]
Al^{3+} / Al	$Al^{3+} + 3e^{-} \rightarrow Al$	- 1,662	1,375
Zn^{2+} / Zn	$Zn^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Zn$	- 0,762	0,962
Cr^{3+} / Cr	$Cr^{3+} + 3e^{-} \rightarrow Cr$	- 0,744	0,923
Fe^{2+} / Fe	$Fe^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Fe$	- 0,447	0,420
Cd^{2+} / Cd	$Cd^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cd$	-0,403	—
Ni^{2+} / Ni	$Ni^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Ni$	-0,257	—
Pb^{2+} / Pb	$Pb^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Pb$	-0,126	—
H^{+} / H	$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$	0,000	0,000
$Cl / AgCl$	$AgCl + e^{-} \rightarrow Ag + Cl^{-}$	0,222	—
Cu^{2+} / Cu	$Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu$	0,342	0,879
Cu^{+} / Cu	$Cu^{+} + e^{-} \rightarrow Cu$	0,521	—
Ag^{+} / Ag	$Ag^{+} + e^{-} \rightarrow Ag$	0,780	-0,129
Au^{3+} / Au	$Au^{3+} + 3e^{-} \rightarrow Au$	1,498	—
Au^{+} / Au	$Au^{+} + e^{-} \rightarrow Au$	1,692	—

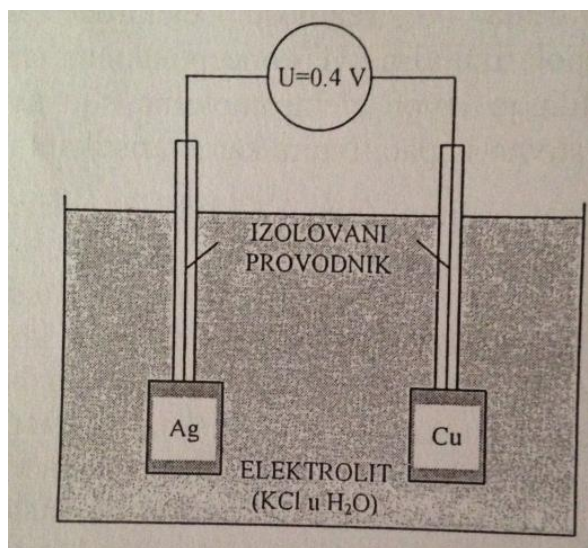
Полућелијски потенцијал се одређује мерењем напона између електроде од интереса и неутралне електроде. Неутрална електрода је електрода коју називамо водонична електрода, а која се прави користећи структуру са слике 2.5, о којој је касније бити речи.



Слика 2.5. Полућелијски потенцијал може да се измери применом две електроде. Ако се користи водонична електрода директно се добија вредност полућелијског потенцијала

Промене полућелијских потенцијала у малом опсегу температура у околини собне температуре се могу апроксимирати линеарном функцијом са нагибом дефинисаним вредностима у табели 2.1. У табелу је стављена и водонична електрода коју сматрамо референтном.

У мерењима биопотенцијала се користе две електроде. То значи да је излазни напон између те две електроде. Ефекат потапања два различита метала у јонски раствор је приказан на слици 2.6. Појава напона је данас искоришћена за производњу електрохемијских извора (нпр. Волтин оловни акумулатор, алкалне батерије, Li батерије, итд).



Слика 2.6. Електрохемијски потенцијал: напон између различитих метала који су потопљени у јонски раствор

Пример којим илуструјемо електрохемијски потенцијал (слика 2.6) је са металним електродама од сребра (Ag) и бабра (Cu) које су потопљене у раствор калијум хлорида (KCl) у дестилованој води.

При постављању проводника на кожу тела добија се аналогни ефекат јер је тело, па и кожа претежно раствор разних јона у води. У биомедицинским применама је напон који називамо „offset“ потенцијал између две електроде нестабилан и нестационаран. Неопходно је примењивати две електроде код којих је offset потенцијал мали и стабилан у највећој мери, водећи при томе рачуна и о осталим потенцијалним хемијским ефектима услед контакта ткиво – проводник. У последњој колони табеле 2.1 дати су коефицијенти (у линеарној апроксимацији) температурне промене полућелијског потенцијала у функцији промене температуре.

Метале у јонским растворима третирамо као неполаризоване електроде. У контакту електроде са електролитима долази до оксидационо – редукционих реакција. Резултати оксидације и редукције су хемијска једињења на површини електрода и електролиза

електролита. Ова појава је непогодна, јер нарушава природни баланс електролита и доводи до неповратних промена на електродама.

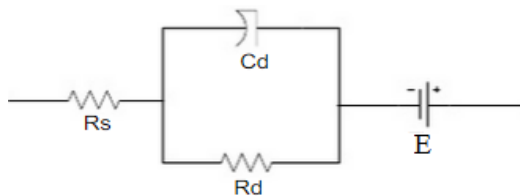
Да би се елиминисали ефекти редукције и оксидације, површина метала треба да се превуче слојем метала који је добар проводник и који је стабилан. Врло често примењивана електрода се добија пресвлачењем сребрне електроде слојем среброхлорида. Електрода Ag/AgCl је скоро нерастворљива у раствору који садржи Cl⁻. Ово превлачење неполаризоване електроде Ag резултује поларизованом електродом Ag/AgCl.

Слој AgCl на Ag/AgCl електродама се добија процесом хлорисања хемијски чистог Ag (99,99%). Овај поступак се обавља тако што се сребро у жељеној геометријској форми постави у раствор NaCl у дестилованој води и редно повеже у струјно коло. Струја у овом колу треба да буде 1mA/cm², а период стварања слоја је 15 минута. У овом периоду сребро се превлачи слојем AgCl (електролиза електролита и оксидација електроде). Ag/AgCl електроде се прави и синтеровањем сребрног праха и праха сребро – хлорида. Ag/AgCl електрода има релативно стабилан, мали offset потенцијал.

Ag/AgCl се најчешће прави у облику плочице, која је интегрисана у флексибилну фолију (крагну) која има адхезивни слој за причвршћење на кожу и проводни „гел“ због бољег контакта са организмом. Пречник плочице је 10 mm, а адхезивне „крагне“ за причвршћавање на кожу око 25 mm.

У биомедицинским применама посебна пажња мора да се обрати код примене биокомпатибилних и нетоксичних материјала. На пример, цинк – цинксулфат (Zn/ZnSO₄) електроде имају добре електричне особине и стабилан offset потенцијал па су погодне за примену у биомедицини, посебно код стимулације. Електроде које се користе код снимања имају слој једињења (нпр. PtIr, Pt/Pt black, полимер) који их претвара у поларизоване електроде.

2.4. Електрични модел електроде

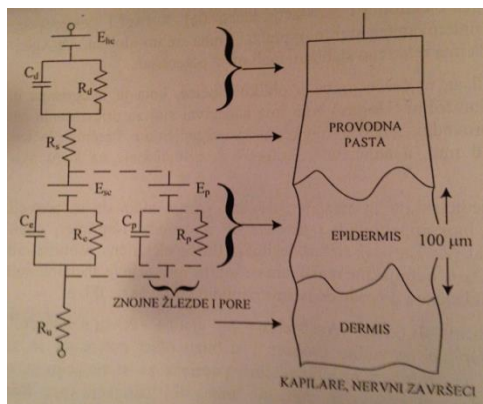


Слика 2.7. Електрични модел електроде у електролиту. R_s представља отпорност електролита, C_d и R_d импедансу споја метал - електролит, а E потенцијал полућелије

Електроду смо моделовали као редну везу извора (E) са релативно великом импедансом. Ред величине отпорности је $R_s=1k\Omega$, $R_d=10k\Omega$, а капацитативност је реда $C=10pF$. Електромоторна сила је једнака полућелијском потенцијалу електроде.

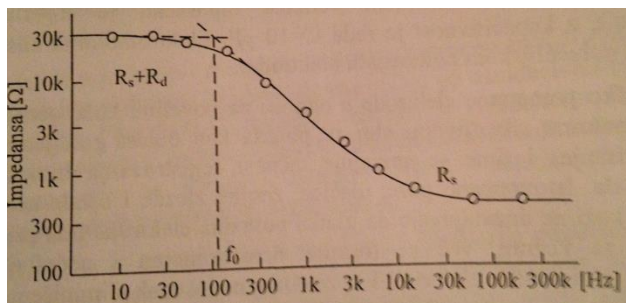
Механичко померање електроде, у односу на померање коже, генерише електромоторну силу (двојни слој се понаша као област градијентног наелектрисања) и тиме се смањује тачност регистравања биолошких потенцијала. Истовремено, поре длачице, знојне жлезде и остале неравнине на кожи не дозвољавају да глатка површина електроде има присан контакт са кожом, већ се формира неравномеран и недефинисан ваздушни слој између електроде и коже. Овај недостатак се елиминише, а механичка стабилизација се обезбеђује применом проводне хипоалергијске пасте. Отпорност проводне пасте $R_s \approx 10\Omega$ је много мања у односу на отпорност коже и електроде.

У неким случајевима се уместо фолије, која покрива электроду користи проводна паста која има адхезивна својства, па се на тај начин поред побољшања проводности обезбеђује и механичка стабилност контакта (непомерање електроде у односу на место на коме је постављена).



Слика 2.8. Модел коже и електроде са проводном пастом

Важно је уочити да електроде имају претварачке (резистивне и капацитивне) карактеристике које зависе од учестаности сигнала који се мери. Наиме, неки од ефеката двослоја су изражени само на ниским учестаностима, па је због тога импеданса на тим учестаностима значајно већа. У практичним применама импеданса на ниским учестаностима је реда $10\text{ k}\Omega$, да би на високим учестаностима та импеданса постала мања од $1\text{ k}\Omega$.



Слика 2.9. Промена импедансе поларизоване електроде у функцији учестаности сигнала који се снима

2.5 Карактеристике електродног „offset“ потенцијала

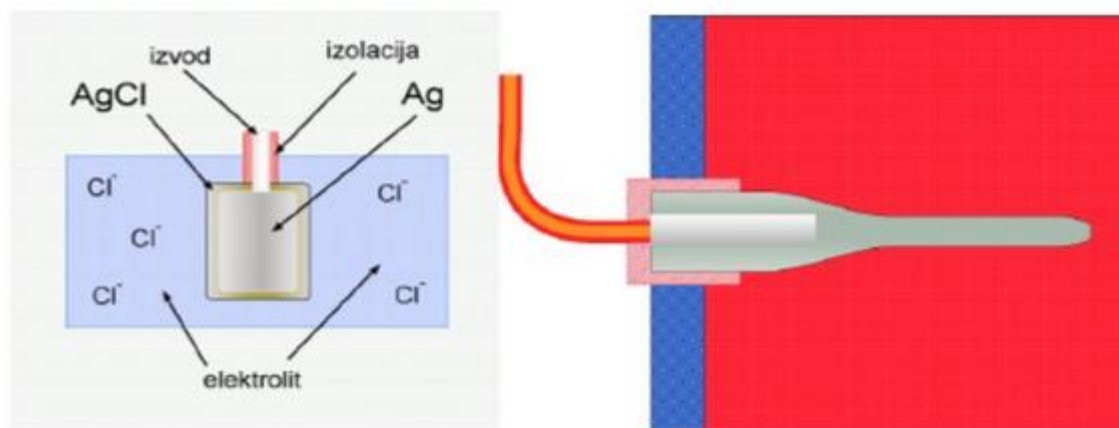
Код електрода повезаних са телом долази до дуготрајних и краткотрајних промена електродног „offset“ потенцијала. Дуготрајне промене у електродном „offset“ потенцијалу можемо видети као померање базне линије (baseline drift) када се користи појачивач који појачава и једносмерну DC компоненту. Краткотрајне промене „offseta“ се виде као шум.

Табела 2.2. Пример промене „offset“ потенцијала Ag/AgCl електроде у контакту са растворима различитих концентрација KCl у води

„Offset“ Ag/AgCl [V]	0,401	0,343	0,288	0,235	0,222
Моларна концентрација KCl	0,001	0,01	0,1	1	4,5
Температурни коефицијент[mV/K]	0,77	0,62	0,43	0,25	0,21

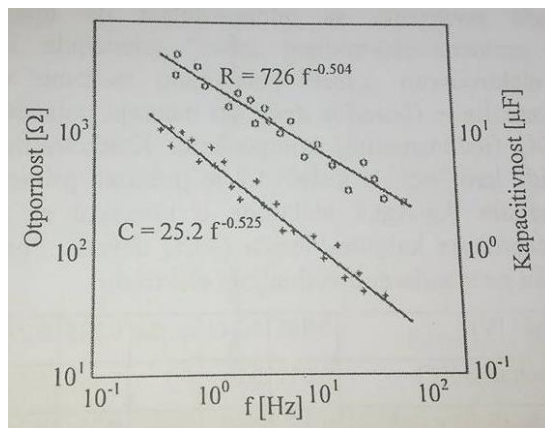
Ако су две различите електроде повезане на улаз једносмерног појачивача, тада се мерни уређај понаша као оптерећење. Струја у овом колу се постепено смањује, јер се „батерија“, која је последица полућелијских потенцијала, празни (оксидација и редукција). Батерија коју су формирале електроде има мали капацитет и због тога је у стандардним условима мерења (улазна импеданса појачавача, $Z_{in} > 10\text{M}\Omega$) њено пражњење и до неколико сати. Резултати мерења зависе од тога да ли употребљавамо нове или већ коришћене електроде.

Ag/AgCl електроде имају веома изражене фотосензитивне особине, иако није у потпуности објашњено да ли светлост утиче на Ag/AgCl електроде тако што генерише потенцијал или само проузрокује промену „offset“ потенцијала. Пожељно је да се електрода заклони од светла да би се на тај начин обезбедила стабилност рада.



Слика 2.10. Ag/AgCl електрода

Електроде у контакту са електролитом имају типично резистивно – капацитивно понашање. Као што и знамо резистивност и капацитивност су мање на вишим учестаностима (Слика 2.11).



Слика 2.11 . Отпорност и капацитивност електроде од нерђајућег челика у 0,9% раствору NaCl који је измерен при густини струје од $J=0,025 \text{ mA/cm}^2$ (Geddes i Baker 1989)

По начину употребе разликујемо: вишеупотребне и електроде за једнократну употребу. Вишеупотребне електроде се поново користе после чишћења/стерилисања пре наредне употребе.

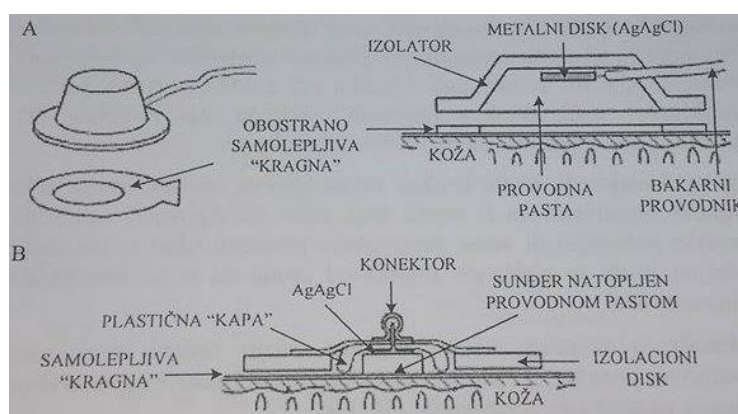
2.6. Површинске електроде

Површинске електроде се постављају на кожу, тј. кожа има улогу проводника. Отпорност коже је фреквенцијски зависна (при учестаности од 1Hz око 200 kΩ, а на 1 MHz, 200 Ω). Слојеви коже садрже васкуларне и нервне компоненте, као што су знојне жлезде и канали, крвни судови, длаке, итд. Њихов утицај, сем утицаја знојних жлезда и канала, може се занемарити.



Слика 2.12. Општа еквивалентна електрична шема површинских електрода. Гел који се користи код неких електрода обезбеђује бољи контакт електроде са кожом

Шематски приказ конструкције површинских електрода, које се често користе у мерењима електрофизиолошких сигнала приказано је на слици 2.13. Слика 2.13 А приказује Ag/AgCl електроду код које је контакт обезбеђен хипоалергијском проводном пастом, а причвршћење на кожу се врши коришћењем двострано лепљиве траке која је у облику крагне и која даје сигуран изолован контакт изолационог дела електроде и коже. Слика 2.13 В приказује једноупотребну електроду која је реализована применом истих материјала као и вишеупотребна електрода. Једноупотребне електроде се праве са разним типовима конектора који су најчешће од челика, и који захтевају примену каблова које производи исти произвођач који производи и електроде. Изолациони слој је у оба случаја непровидан, па елиминише потенцијалне утицаје светла. Изолациони материјали имају особине које не уносе капацитивне сметње и ефекте поларизације у току мерења.



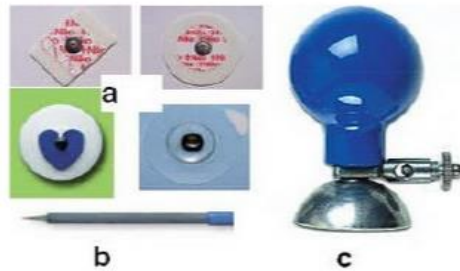
Слика 2.13. А) вишеупотребна Ag/AgCl електрода са проводним пастом, В) једноупотребна Ag/AgCl електрода

На слици 2.7 приказана је општа еквивалентна шема површинске електроде при мерењу. Отпорност R_s представља отпорност споја електрода – кожа. Двема паралелним гранама се описује утицај знојних жлезда и њихових канала (десна грана) и утицај остатка епидермиса (лева грана). R_d представља отпорност нижих слојева коже. Проблем код површинских електрода је померање делова тела где се налази електрода. Померање, ма колико мало било, уноси велики шум и тиме прави грешке мерења. Шум је резултат поремећаја трансфера оптерећења између метала и електролита. Овај шум је ниске фреквенције и знатно је нижи код неполаризованих електрода. Други проблем представља неправилно налагање равне електроде на неравну површину коже. На овај начин су створене области са ваздухом између електроде и коже. Ваздушни џебови повећавају отпорност споја електрода – кожа и повећавају ниво шума који потиче од електроде. У циљу обезбеђења доброг контакта често се између електроде и коже поставља гел, који уједно смањује и шум услед померања.

У површинске електроде спадају:

- диск електроде (metal disc electrode),
- усисне електроде (suction electrode),

- самоносеће електроде (floating electrode),
- флексибилне (flexible electrode).



Слика 2.14. Електроде: а) диск електроде, б) иглена електрода, ц) усисна електрода

Диск електроде су електроде просте конструкције. То је обичан метални диск малих димензија од одговарајућег материјала (најчешће нерђајући челик обложен платином или златом). Постављају се на кожу пацијента каишима или лепком. Јефтине су и постављају се без неких предходних припрема што је погодно за примену у болницама. Проблем је висок ниво шума услед померања.



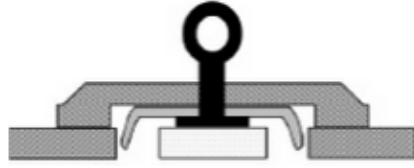
Слика 2.15. Типична диск електрода

Усисне електроде не користе лепак или каиш за постављање. Иако су великих димензија, њихова додирна површина са кожом је мала. Имају већу импедансу него диск електроде. Користе се само у кратким временским интервалима.



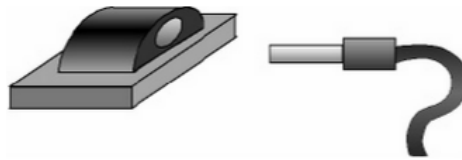
Слика 2.16. Усисна електрода

Самоносеће електроде имају метални диск који плива у гелу специјалне намене. Применом гела смањен је шум услед померања, јер електрода није у директном додиру са кожом и мањи је отпор споја електрода – кожа.



Слика 2.17. Самоносећа електрода. Метални диск плива у гелу (често гелом обложена сунђер), чиме се смањује шум померања. Чitava конструкција је смештена у пластично кућиште са лепљивом подлогом

Флексибилне електроде се користе на неправилним контурама тела и када су пацијенти деца. Просте су конструкције, полимерна или најлонска трака са наносом сребра или гумена трака са слојем графита.



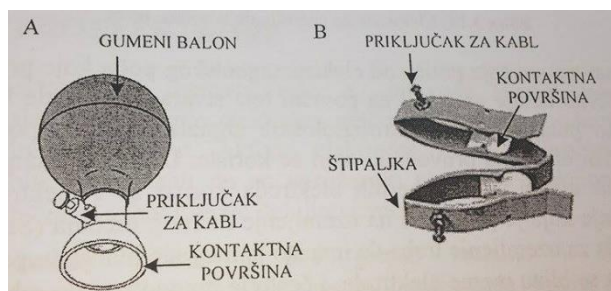
Слика 2.18. Флексибилне електроде се израђују од еластичних материјала како би се прилагодиле неправилним контурама тела

Флексибилне површинске електроде се прилагођавају облику тела. Ово је значајно ако електрода има релативно велику површину (при примени електричне стимулације, или електроде за уземљење).



Слика 2.19. Шематски приказ флексибилних површинских електрода

Облике електрода (усисне електроде) често се користе код снимања активности срчаног мишића у трансверзалној равни (прекордијални отвори). Ова врста електрода се причвршћује помоћу малог гуменог балона, који користи ефекат вакуума (слика 2.20 А).

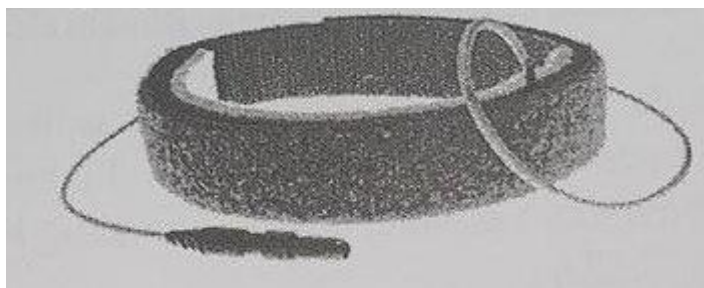


Слика 2.20. Вишеупотребне електроде за мерење ЕКГ сигнала

Због једноставности се користе и „штипаљке“ са контактним површинама које се постављају на ручне и на ножне заглавке (слика 2.20 В). Контактна површина у овим електродима је од Ag/AgCl или нерђајућег челика. Код коришћења ових електрода користи се контактна паста или физиолошки раствор.

2.7. Електроде за уземљење

Један од највећих проблема при снимању акционих потенцијала применом површинских електрода су сметње које узрокује електромагнетно поље у којем се ти сигнали снимају.

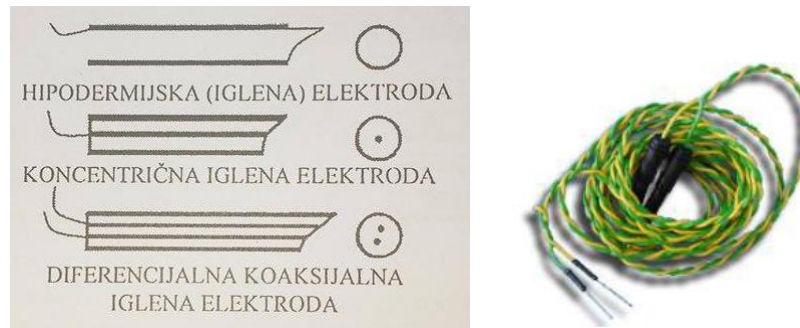


Слика 2.21. Електрода за уземљење у облику траке

Доминантна сметња потиче од електромагнетног поља које претежно капацитивно делује на тело и на површини тела ствара потенцијале који су неколико пута већи од електрофизиолошких сигнала. Постоје и индуктивни ефекти на коришћене проводнике. Да би смањили ове негативне утицаје, поред мерних електрода користи се и електрода за уземљење која је повезана на уземљење мерног уређаја (слика 2.21). Електрода за уземљење треба да има што мању импедансу, и поставља се близу мерне електроде и често је много већа у односу на мерну электроду.

2.8. Иглене електроде

Ова врста електрода може више пута да се користи, али се понекад користе и као једноупотребне. Користе се и за посматрање ЕКГ – а током операције, као и за снимање акционих потенцијала мишића или нерава, потенцијала у централном нервном систему и слично. Иглене електроде најчешће се праве од нерђајућег челика, који са аспекта електричних особина није оптималан материјал за електроде, али су му механичке особине одличне, а солидна је и стабилност електрода током коришћења.

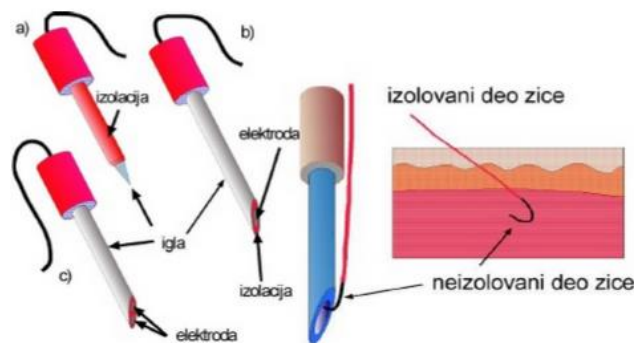


Слика 2.22. Шематски приказ три различита типа хиподермијских електрода: монополарна, биполарна концентрична и биполарна диференцијална електрода. Иглена електрода за регистрацију МЕР из мишића

Специјалне врсте иглених електрода као што су концентричне или изоловане иглене електроде могу се користити тамо где је потребно иглу поставити на локализовано подручје. Концентричне иглене електроде могу бити од 5 до 8 cm дугачке и оне се користе у електромиографији, а 15 cm дугачке у неурохирургији. Иглени електроде бележе активност у области врха игле. Концентрична иглена електрода се састоји од хиподермичке игле у чијем центру је нетоксичан биокомпатибилни проводник. Спољашња страна хиподермичке игле је изолована. Диференцијалне електроде мере напон између крајева који су у додиру са ткивом, а остала два типа се користе за монополна мерења, тј. мерења у односу на референтну электроду која је често на површини коже.

2.9. Интерне електроде

Користе се за директна мерења потенцијала, тј. без коже као посредника. Овде нема шума померања и еквивалентна шема је знатно простија (слика 2.7), а мерења знатно поузданија. Интерне електроде су игле или фина жица која се убада на место од интереса. Игле се најчешће користе у електромиографији. Жице су пречника од 25 до 125 микрометара и могу бити савијене или праве.



Слика 2.23. Игле као интерне електроде. лево: а) обична изолована игла, б) коаксијална игла, ц) биполарна коаксијална електрода. Десно: фина жица у улози електроде: алатка за убацивање жице и жица у мишићно ткиво

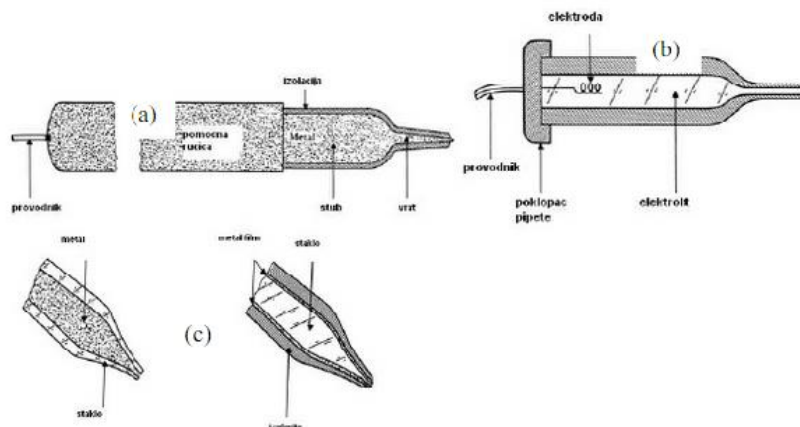
2.10. Микроелектроде

То су мале електроде, пречника од 0,05 до 10 микрометара. Довољно су мале да се сместе у ћелију и користе се за мерења потенцијала дуж мембране једне ћелије. Карактерише их веома велика отпорност (од 10 до 100 МΩ), као последица малог пречника.

Употребљавају се за снимање унутар ћелијских потенцијала (бележење електричне активности) у ћелији у односу на екстрацелуларну течност. Активни електродни врхови микроелектрода морају да буду толико мали да не угрожавају нормално функционисање ћелије. Ти врхови обично имају дебљину од 0,1 – 10 nm. Постоје три основна типа микроелектрода:

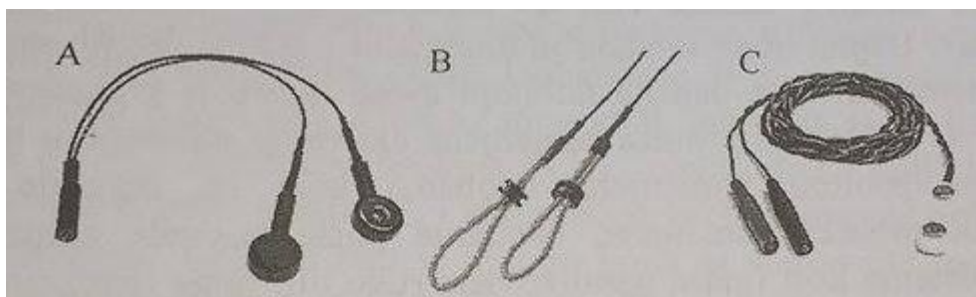
- од чврстог метала,
- стаклене микропипета,
- комбиновано стакло и метал.

Микроелектрода од чврстог метала је погодно обликован метал пресвучен изолацијом. Праве се електронским гравирањем и то од платине или нерђајућег челика. Стаклена микропипета се израђује деформисањем стаклених капила. Напуњена је електролитом (KCl) и садржи электроду (Pt, нерђајући челик или Ag/AgCl). Електрода од комбинованог метала и стакла се израђује на два начина. Стакло је изолација металног стуба или је стакло носећи стуб електроде и пресвучено слојем метала, затим слојем изолационог материјала. Метал код последњих микроелектрода је платина или легура сребра (сребро – калај).



Слика 2.24. Микроелектроде: а) метална микроелектрода, б) микропипета, ц) микроелектроде израђене комбинацијом метал – стакло.

2.11. Електроде за стимулацију



Слика 2.25. Електроде за стимулацију појединих сензорно – моторних механизма при мерењу евоцираних потенцијала. На слици А је приказана „ring“ електрода која је погодна за стимулацију на прсту, а на слици Б је „bar“ електрода на којој је тачно дефинисано растојање између аноде и катоде

Код мерења евоцираних потенцијала неопходно је селективно активирати поједине структуре, па се због тога производе електроде за стимулацију које имају малу количину електрицитета. Крајеви ових електрода су означене црвеном и црном бојом које означавају аноду и катоду респективно. Задатак електрода у терапији јесте да активирају структуре у сензорно мишићном систему, или да обезбеде транспорт неког материјала.

Електроде за стимулацију, које се примењују на кожи, праве се од биокompatibilног материјала и обавезно се примењују са проводном пастом или проводним полимером. Код примене електрода за стимулацију треба водити рачуна која се електрода користи као катода, а која као анода. Место на коме је анода је више угрожено (услед промена на ткиву, корозије) од места на ком је катода. Активна електрода код стимулације је катода.

2.12. Имплантибилне електроде

Најзначајнији представник ове групе медицинских уређаја јесте симулатор срчаног мишића који се скраћено зове давач ритма или „pacemaker“. У свакодневној употреби су и уређаји који се све више користе: 1) кохлерална протеза намењена активацији аудиторног нерва; 2) визуелна протеза намењена особама које су изгубиле вид; 3) моторна протеза намењена особама после повреде централног нервног система који имају парализоване руке и/или ноге (функционална неуромишићна стимулација); 4) френични стимулатор намењен успостављању дисања; 5) стимулатори нерава који контролишу рад мокраћног мехура и сфинктера, итд.

Електроде представљају интерфејс било ког од поменутих уређаја са организмом. Ове електроде треба хемијски, физички и механички, као и по величини и облику да буду погодне за имплантацију. Посебан услов, који мора да се поштује, је да количина

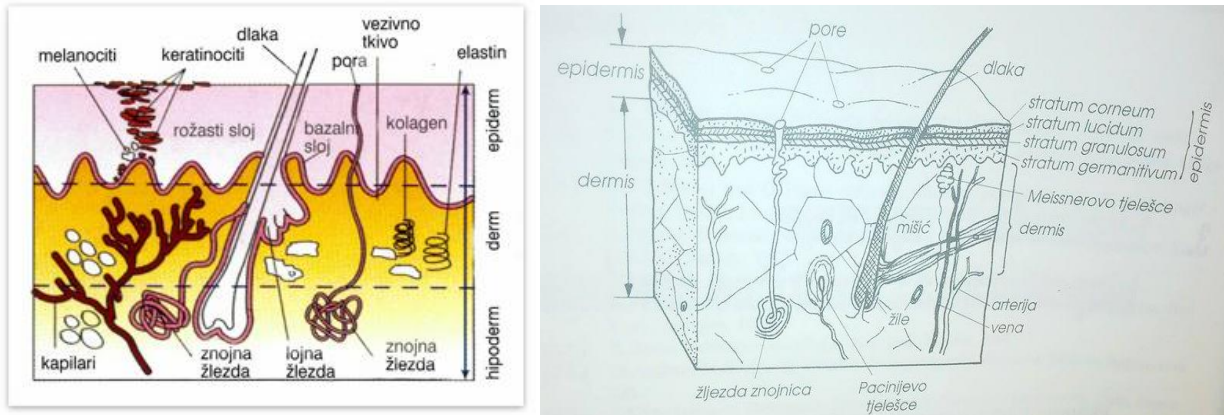
електрицитета буде ограничена (енергија, снага, густина) да не би дошло до промене на ткивима на којима се делује. Приликом коришћења неутралних електрода на површини кортекса највећа дозвољена густина електрицитета јесте око $300 \mu\text{C}/\text{cm}^2$, док се при примени интракортикалних електрода може користити и значајно већа густина ($\approx 1600 \mu\text{C}/\text{cm}^2$).

Најзначајнији елемент у посматрању дуготрајности електроде услед хемијске инванзивности, јесте корозија. Корозија се може смањити коришћењем монофазне компензоване стимулације, код које је негативни импулс врло кратак да би се што пре „провукла“ количина електрицитета која је предата ради побуде одговарајућих структура. Краткотрајни импулси су такође повољни са становишта корозије. При примени се користе искључиво платина, легура платине са иридијумом ($<10\%$), иридијум, тантал, нерђајући челик, злато, волфрама, молибдена и неких других метала. Данас се као основа за електроде најчешће користи силицијум.

3. Мерење биопотенцијала

3.1. Биоелектрична својства коже

Кожа штити организам од спољашњег утицаја, оштећења и заразе, а учествује и у регулацији температуре организма. Састоји се од спољашњег дела **epidermisa** и унутрашњег дела **dermisa** као што је приказано на слици 3.1.

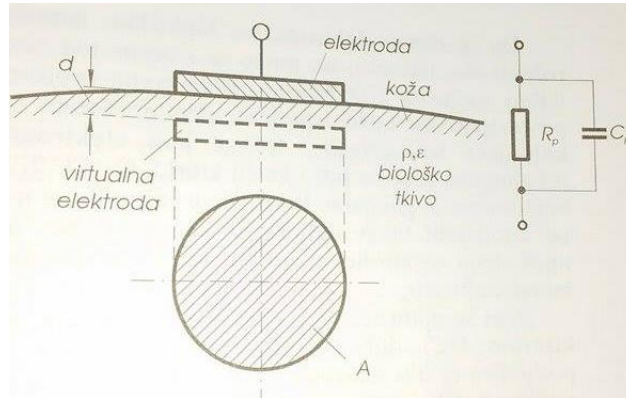


Слика 3.1. Слојеви коже

Епидерм се састоји од четири слоја: stratum corneum, stratum lucidum, stratum granulosum, stratum germanitivum. **Stratum corneum** се налази на самој површини и састоји се од мртвих станица без језгра. Те мртве станице чине чине рожасти слој од мембрана без унутар станичне течности и имају највећи електрични отпор иако је слој танак. На челу је дебљина тог слоја од 20 до 40 μm , а на длановима и табанима 0,4 до 0,8 mm. **Stratum lucidum** је приближно дебео око 10 μm и састављен је од неколико редова станица без језгра које са сушењем прелазе у stratum corneum. Трећи слој епидермиса **stratum granulosum** састављен је од зрнастих зрнаца, док је четврти и темељни и најдебљи слој **stratum germanitivum**. Цитоплазма четвртог слоја има језгро и садржи меланин, у зависности од чије количине зависи и боја коже. Дермис се састоји искључиво од живих станица. У ткиву дермиса, који се добро види, налазе се артеријски и венски капилари који храном снабдевају кожу и регулишу температуру. Ту се дешава и анастомоза, тј. блиска непосредна промене крви између артериола и венула. У овом делу се налазе жлезде и знојне жлезде и доводе допиру и огранци живаца. Тај је слој због обиља електролита електрично добро проводљив. Део коже је покривен и длакама и у овом делу постоји и корен длаке. Кожа покривена длакама, због тањег слоја епидермиса, боље проводи електричну струју. Кожа се непрекидно обнавља, и на тај начин мртве станице stratum corneuma опадају, а станице stratum luciduma долазе на њихово место и на тај начин постају stratum corneum.

3.2 Контакт електрода – кожа

Постављањем металне електроде површине A на кожу може се утврдити да постоји отпор R_p између металне електроде у добро проводљивом дерму који се може сматрати другом виртуелном електродом. То се види на слици 3.2.



Слика 3.2. Контакт између електроде и коже и поједностављена шема

Отпор између те две електроде највећи је у рожнатом слоју (*stratum corneum*), а једним делом и у *stratum lucidum*, да би у даљим слојевима био што мањи. Пошто је дебљина овог слоја d врло мала од око $30 \mu\text{m}$ до $0,5 \text{ mm}$ на длану и на стопалима може се сматрати да је виртуелна електрода исте површине као и електрода A тј. прва електрода па је отпор R_p дат изразом:

$$R_p = \rho \cdot \frac{d}{A} \quad (3.1)$$

Специфични отпор ρ је дат са изразом:

$$\rho = \frac{1}{\mu \cdot q \cdot n} \quad (3.2)$$

μ је покретљивост наелектрисања или нето – брзина ако има наелектрисања са два предзнака, q је величина наелектрисања изражена у Кулонима, а n је број наелектрисања у јединици запремине. Између електроде и виртуелне електроде у ткиву постоји и капацитативност јер *stratum corneum* има и одређену диелектричну константу ϵ . Та капацитативност се може одредити према познатом изразу

$$C_p = \epsilon \cdot \frac{A}{d} \quad (3.3)$$

па је временска константа у овом случају $\tau = R_p \cdot C_p$

$$\tau = \rho \cdot \epsilon \quad (3.4)$$

и искључиво зависи од отпорничких и диелектричних својстава коже. Реактивни отпор (реактанција) коже се може одредити уз познату капацитативност као

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C_p} \quad (3.5)$$

Однос реактивног отпора X_c према радном отпору R_p јесте

$$\frac{X_c}{R_p} = \frac{1}{\omega \cdot \rho \cdot \varepsilon} = \frac{\sigma}{\omega \cdot \varepsilon} \quad (3.6)$$

Овде је σ специфична проводљивост која је реципрочна вредност специфичног отпора ρ ($\sigma=1/\rho$). За проводнике је овај однос већи од 10^2 , а за изолаторе је мањи од 0,01.

Тај је однос код 10 MHz за морску воду отприлике 10^2 , па се према томе понаша као изолатор и на тој и на нижим фреквенцијама. Морска вода има врло слична својства биолошком ткиву. У табелици 3.1 су дате измерене вредности специфичног отпора за неке органе.

Табела 3.1. Измерене вредности специфичног отпора за неке органе

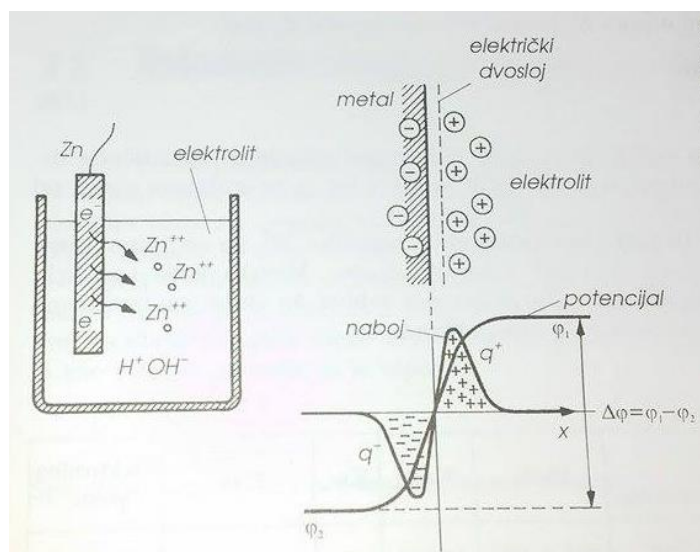
Биолошко ткиво	Мишић		Плућа	Кост	Крв	Маст	Електродна паста
	Уздужно	Попречно					
Специфични отпор Ωcm	240	675	800 – 2000	16000	154	1000 – 3000	10 – 200

Да би отпор електрода при биолошким напонима био што мањи, рожасте слој се може уклонити, али се исто тако и његов отпор може смањити ако се он натопа добро проводним електролитом. У ту сврху се производе проводне пасте, које се постављају на кожу испод електроде. Такав електролит може бити раствор кухињске соли (NaCl) што се код електроенцефалографских електрода и примењује, а може се користити и CaCl или KCl као смеша са бентонитом или глицином. Треба водити рачуна да се не употребљава такав електролит који при дужем коришћењу надражује кожу. Али употребом електролита ствара се електрични двослој, односно напон на контакту метал – електролит.

Ако се употреби метал Zn и ако се урони у водени раствор HCl, долази до прелаза цинкових катјона Zn^{++} у раствору, а последица овог је стварање вишка електрона на цинковој електроди, јер је она изгубила позитивно наелектрисање одласком катјона Zn^{++} у раствор, као што је приказано на слици 3.3. На овај начин ствара се двослој који одваја негативно наелектрисање од позитивног. Одвојено наелектрисање различитог поларитета ствара разлику потенцијала на таквом граничном слоју. Величина разлике потенцијала E_0 зависи од врсте употребљеног метала, а зове се потенцијал полућелије. Код неких метала се примењује тежња преласка њихових катјона у раствор, а код других да се из раствора вежу за метал. Да би се ови потенцијали измерили, мора постојати и друга електрода у

раствору. Она мора бити неутрална, односно позитивног потенцијала. Као таква се користи водонична електрода, која се састоји од црне платине преко које струји водоник који прекрива површину електроде молекулима водоника што се претварају у јоне посредством платине као катализатора.

Та електрода се налази у раствору солне киселине. Потенцијал воденикове електроде је дефинисан као **арбитрарна нула** или електрода нултог потенцијала. Напон који се тако добија је између одабране металне електроде и воденикове електроде јесте напон полућелије тог метала.



Слика 3.3. Стварање потенцијала двослоја на граници метал – електролит

Потенцијали добијени на овај начин за различите метале и када су поређани према њиховој величини, добија се Волтин низ. Волтин низ односно потенцијали полућелије за чешће коришћене метале су приказани у табели 3.2.

Табела 3.2. Волтин низ односно вредности потенцијала полућелија

Волтин низ при 20 °C					
Елемент		E ₀ [V]	Елемент		E ₀ [V]
Li	$Li^{+} + e^{-}$	- 3,010	$Pt(H_2)H^{+}$		0,000
Mg	$Mg^{2+} + 2e^{-}$	- 2,380	$Ag + Cl^{-}$	$AgCl + e^{-}$	+ 0,222
Al	$Al^{3+} + 3e^{-}$	- 1,662	Cu	$Cu^{2+} + 2e^{-}$	+ 0,337
Zn	$Zn^{2+} + 2e^{-}$	- 0,763	Cu	$Cu^{+} + e^{-}$	+ 0,521
Fe	$Fe^{2+} + 2e^{-}$	- 0,440	Ag	$Ag^{+} + e^{-}$	+ 0,799
Ni	$Ni^{2+} + 2e^{-}$	- 0,250	Pd	$Pd^{2+} + 2e^{-}$	+ 0,987
Sn	$Sn^{2+} + 2e^{-}$	- 0,140	Pt	$Pt^{2+} + 2e^{-}$	+ 1,2
$Pt(H_2)H^{+}$		0,000	Au	$Au^{3+} + 3e^{-}$	+ 1,498

Реактивни или базни метали, који су на негативном делу низа, теже да формирају јоне тако да они прелазе у раствор у који су уроњени. Елементи смештени на позитивном делу низа немају тенденцију да формирају јоне и не прелазе у растворе, па су то племенити елементи. Назив је дошао због тога што се негативни елементи преласком у раствор троше тј. кородирају, а са племенитим елементима то се не догађа. Према томе, ако уронимо неки метал у отопицу његових соли, појавиће се потенцијал полућелије E_{0M} и напон о концентрацији јона тог метала у раствору према формули Нерста

$$\Delta U = \frac{RT}{nF} \ln \frac{c_{k_1}}{c_{k_2}} \quad (3.7)$$

Можемо је писати у облику:

$$E_{0,5M} = E_{0M1} - \frac{RT}{nF} \ln c_{M1} \quad (3.8)$$

Ако с друге стране имамо неки 2 метал уроњен у раствор сопствених јона, његов потенцијал ће бити:

$$E_{0,5M} = E_{0M2} - \frac{RT}{nF} \ln c_{M2} \quad (3.9)$$

Ако сада ова две раствора одвојимо полупропусном мембраном и на тај начин омогућимо пренос јона, а да при томе избегавамо изворни спој раствора, може се измерити разлика потенцијала између ова два раствора према изразу:

$$\Delta E = E_{0,5M1} - E_{0M2} = E_{0M1} - E_{0M2} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[c_{M1}]}{[c_{M2}]} \quad (3.10)$$

На тај начин је одређен напон галванске ћелије. На контакту два раствора различите концентрације $c_1=c_2$ због различите покретљивости њихових катјона μ^+ и анјона μ^- може се јавити и напон на споју E_d :

$$E_d = \frac{\mu^+ - \mu^-}{\mu^+ + \mu^-} \cdot \frac{RT}{nF} \ln \frac{[c_1]}{[c_2]} \quad (3.11)$$

Свака електрода, која дође у додир са електролитом, имаће одређени потенцијал према изразу (3.10). Такав се потенцијал добија и приликом употребе пасте за електроде или раствора NaCl, јер су електролити. Тај потенцијал је при мерењу биолошких напоне непожељан, јер се при употреби једносмерних појачала великих појачања дешава засићење појачала тј. онемогућује се даље појачање. Због тога, ако се у монтирању појачала употреби једносмерно појачало, а оно на улазу не сме имати велико појачање да би се избегло засићење и мора бити одвојено кондензатором од осталих степена појачања која следе иза њега.

Очекује се да разлика у потенцијалима између електрода које се употребљавају увек буде нула, када се врше биолошка мерења. Ово се никада не дешава, јер раствори

немају исту концентрацију, нити су метали од којих су направљене те електроде потпуно идентичне, а могу имати и површинска оштећења. Ти потенцијали се мењају према изразу (3.10) а на њих утиче и температура, тако да се упркос „истим“ електродама између њих постоји напонска разлика. Та напонска разлика, иако је мала, према напону полућелије је велика и за два до три реда величине је већа од мереног напона. Мала напонска разлика због напона полућелије обично је десетак милivolти. Електроде се бирају тако да им полућелијски потенцијал буде мали. То су електроде код којих је концентрације катјона мала. Најпогодније решење које се користи јесте комбинација AgCl која се налази у раствору NaCl. У овом случају се око електроде AgCl налази много анјона хлора Cl^- мн и код 10% раствора захваљујући константности продуката, постигнуто да су концентрације врло Ag^+ мале, што онемогућава стварање већег напона поларизације.

$$[Ag^+][Cl^-] = 1,56 \cdot 10^{-10} \quad (3.12)$$

Осим електрода од сребра – сребрног хлорида Ag – AgCl користе се и електроде од цинк – цинк хлорида или цинк сулфата (Zn – ZnCl₂, Zn – ZnSO₄), али се ове електроде слабије употребљавају због мање стабилности. Код електрода, које на себи садрже хлор постоји опасност од сметњи ако се хлор оштети. Али и без тога су електроде од нерђајућег челика у сопственим солима склоне тренутним променама потенцијала (поп – артефакт).

У табели 3.2. уочавамо да је потенцијал полућелије хлониране сребрне електроде 0,222 V и када се дода напон Cl^- катјона, може бити и око 300 mV, али због велике стабилности тог потенцијала разлика напона између две електроде није већа од 10 mV.

На месту где се ствара електрични двослој између металне електроде и раствора, појављује се капацитативност, која је врло велика (приближно 30 $\mu F/cm^2$), јер је дебљина диелектрика реда величине пречника молекула. Уз ту капацитативност C_s , постоји и отпорност R_s , па се и капацитативност и отпорност морају узети у обзир. Капацитативност и отпорност у овом случају зависе од фреквенције и струје која тече кроз електроде. Код струје се редовно гледа на густину струје која је изражена у mA/cm². Контакт електрода – електролит се може приказати као серијски спој капацитативности C_s и отпорности R_s . Тај серијски спој је познат под именом Варбургова импеданса. Капацитативност C_s и отпорност R_s , инверзно су приближно сразмерне другом корену из фреквенције што се може писати као:

$$C_s = C_{s0} f^{-\alpha} \quad (3.13)$$

односно:

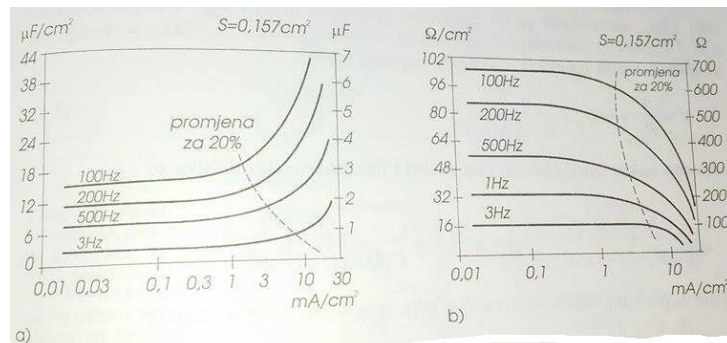
$$R_s = R_{s0} f^{-\alpha} \quad (3.14)$$

где је у случају другог корена $\alpha=0,5$. У мерењима се показало да је експонент α у границама од $\alpha = 0,45$ до $\alpha = 0,55$. Осим тога, може се утврдити да је капацитативна реактанција X_{cs} приближно једнака отпору R_s , односно $X_{cs} = R_s$ и тај однос практично не зависи од фреквенције ако је $\alpha=0,5$, јер је:

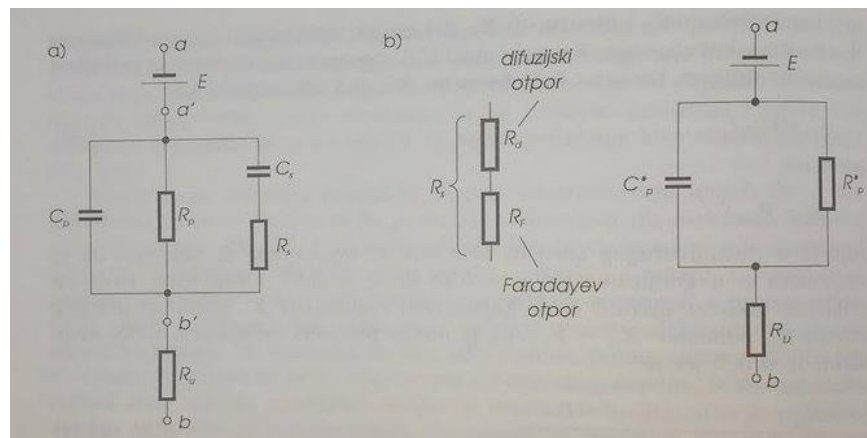
$$\frac{X_{cs}}{R_s} = \frac{1}{2\pi f C_s R_s} = \frac{1}{2\pi C_{s0} R_{s0}} \quad (3.15)$$

Из овога се такође види да је фазни угао ϕ између реактивне отпорности X_{cs} и радне R_s и да он износи $\phi=45^\circ$.

На слици 3.4 а и б су приказани резултати мерења које је извршио Гедес на моделу плочице од нерђајућег челика површине $0,157 \text{ cm}^2$ и концентрације $0,9\%$ раствора кухињске соли у односу на промену капацитивности C_s и отпорности R_s у зависности од фреквенције. На сликама је такође видљив и утицај густине струје која протиче кроз електроде на капацитативност и отпорност. У конкретном примеру се може утврдити да се капацитативност повећава са повећањем густине струје, а да се отпор смањује. Видљиво је и да густина струје изнад 1 mA/cm^2 утиче на капацитативност C_s , односно на отпорност R_s . Утицај густине струје на капацитативност C_s и на отпорност R_s је мања што је фреквенција мереног сигнала већа. Исто тако, се може рећи да се и капацитативна реактанција и отпорност смањују повећањем густине струје.



Слика 3.4. Промене капацитативности и отпорности електрода у зависности од струје стимулације и фреквенције (Гедес)



Слика 3.5. Шема контакта електрода – кожа са Варбурговом импедансом

$$R_p^* = \frac{R_p R_s}{R_s + R_p \frac{(\omega R_s C_s)^2}{1 + (\omega R_s C_s)^2}} \quad C_p^* = C_p \left[1 + \frac{C_s}{C_p (1 + \omega^2 C_s^2 R_s^2)} \right] \quad (3.16)$$

На слици 3.5. је приказана шема контакта кожа – електрода. Овде је уз отпор R_p и капацитативност C_p предочена и капацитативност двослоја C_s и Фарадејев отпор R_d као и дифузијски отпор који је обележен са R_s , и тек сада имамо шему са свим неопходним основним параметрима. Овде морамо додати и унутрашњи отпор R_u који представља отпор унутрашњости организма, а који има малу вредност. Напон двослоја E односно напон поларизације је такође представљен на слици 3.5.

У многим применама се користи једноставнија шема која је приказана на слици 3.5 б, која је састављена од паралелно спојеног отпора R_p^* са капацитативношћу C_p^* у којима су садржани и фреквенцијски и зависни отпор R_s и C_s . Тада се проводљивост двопола између тачака а' и б' може написати као:

$$Y = \frac{1}{R_p} + j\omega C_p + \frac{1}{R_s + (j\omega C_s)^{-1}} \quad (3.17)$$

односно након дељења на реални и имагинарни део добија се:

$$Y = \frac{1}{R_p} + \frac{\omega^2 \cdot C_s^2 \cdot R_s^2}{(\omega R_s C_s)^2} + j\omega C_p \left[1 + \frac{C_s}{C_p (1 + \omega^2 C_s^2 R_s^2)} \right]. \quad (3.18)$$

Овде у подручју виших фреквенција где је $\omega^2 C_s^2 R_s^2 \gg 1$ важи:

$$Y = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_s} + j\omega C_p \quad (3.19)$$

или у подручју ниских фрекванција, где је важи:

$$Y = \frac{1}{R_p} + \frac{\omega^2 \cdot C_s^2 \cdot R_s^2}{R_s} + j\omega (C_p + C_s). \quad (3.20)$$

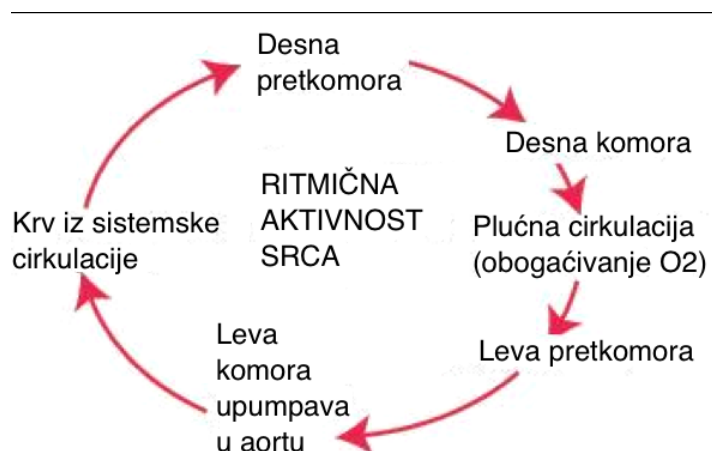
Методe које користи ВІОРАС

1. ЕКГ
2. Електродермална активност ЕДА
3. Респираторни циклус

4. Електрокардиографија ЕКГ

4.1. Ритмичка активност срца

Срчани мишић (миокард) ради ритмично (периодично). Периодичност се може посматрати кроз два аспекта: хидродинамички и електрофизиолошки. Посматрано са аспекта хидродинамике, контракције срчаног мишића стварају прираштај (градијент) притиска унутар крвних судова, који успоставља кретање крви из области већег у област мањег притиска. Тако, срце функционише као пумпа кроз координисан рад свих структура: зидови комора и преткомора, везивно ткиво, крвне судове срца, нервно–проводни апарат, залисци. Иста ова ритмичност се препознаје и у електричној активности мишићних влакана. Електрична ритмичност претходи контракционој ритмичности и условљава је.



Слика 4.1. Ритмичка активност срца

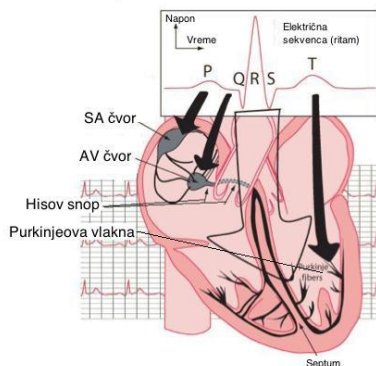
4.2. Побудно – спроводни апарат срца

Срце садржи специјализоване мишићне ћелије које формирају тзв. побудно–спроводни апарат срца. Улога побудно – спроводног апарата јесте:

- Генерисање електричних импулса
- Спровођење електричних импулса у све делове мишићног ткива

Побудно – спроводни апарат срца јесте „главни организатор“ активности срца. Чине га три структуре специјализованих мишићних влакана:

1. Синусни чвор или синоатријални чвор



Слика 4.2. Побудно – спроводни апарат

Импулс који покреће рад срца потиче од синусног чвора. Синусни чвор је назив за групу специјализованих мишићних ћелија које се налазе у зиду десне преткоморе близу самог улаза главне вене (горња шупља вена). Иако припадају групи мишићних ћелија оне се врло слабо контракују, јер су специјализоване за функцију генерисања импулса.

Синусни чвор генерише приближно 100 импулса у минути. Међутим, он је такође повезан и са влакнима аутономног нервног система, која прилагођавају рад синусног чвора успоравајући га на око 70 откуцаја у минути. Када је у питању активност мишића, импулси из синусног чвора се директно преносе у мишиће преткоморе и доводе до њиховог грчења.

2. Атриовентрикуларни чвор

Када би дошло до престанка рада синусног чвора тада би његову функцију преузео атриовентрикуларни чвор који такође има способност самосталног генерисања импулса. Међутим, сигнали генерисани у синусном чвору се генеришу брже од сигнала које је у стању да генерише атриовентрикуларни чвор (AV чвор) тако да AV чвор, у току нормалног рада синусног чвора, једноставно прихвата принудни рад на фреквенцији синусног чвора и спроводи га даље ка коморама. Природна фреквенција AV чвора је око 40 до 60 откуцаја у минути. Због тога се синусни чвор назива примарни пејсмејкер, док се AV чвор назива секундарни пејсмејкер.

Поред споријег ритма, у AV чвору је и провођење сигнала нешто спорије због слабије константе проводности ових ћелија. Управо се овим споријим провођењем AV чвора остварује поменуто кашњење сигнала односно координација рада преткомора и комора. У структурама које следе иза AV чвора (Хисов сноп и Пуркињеова влакна) брзина провођења сигнала поново постаје велика због неопходности истовремене стимулације свих мишићних влакана.

3. Пуркињеова влакна и Хисов сноп

Након АВ чвора сигнали путују ка Хисовом снопу који се налази у оквиру везивног ткива које раздваја преткоморе, леву од десне, као и преткоморе од комора (и у физичком и у електричном смислу). Пуркињеова влакна се надовезују на Хисов сноп и по уласку у коморски део срца она се гранају и тако раздвајају спроводне путеве за леву и десну преткомору. И Пуркињеова влакна поседују својство самонадражљивости, али њихова функција не може послужити као адекватан пејсмејкер уколико дође до губитка функције синусног чвора и АВ чвора јер је њихов рад знатно спорији. Ипак Пуркињеова влакна носе назив терцијарни пејсмејкер. Њихова фреквенција је око 30 до 40 откуцаја у минути.

4.3. Механизам мерења срчане активности – електрокардиографија

Електрокардиографија је неинвазивна клиничка дијагностичка метода која пружа драгоцене податке о правилности рада срчаног мишића. Електрокардиографију је први пут увео у медицину холандски лекар Вилијам Ејнтховен 1903. године и за то откриће је добио Нобелову награду 1924. године.

Електрокардиограм је запис временских промена акционих потенцијала које се одвијају у срчаном мишићу. ЕКГ мерење није директан поступак зато што се електроде не постављају директно на мишићна влакна нити на влакна спроводног апарата (Пуркиње, АВ чвор, Хисов сноп итд.) већ је индиректан, јер се електроде постављају на површину коже у области грудног коша и екстремитета.

Сила која покреће срце је биолошки електрицитет. ЕКГ је запис електричне активности срца, а на основу промена његовог основног изгледа у стању смо да дијагностикујемо велики број срчаних поремећаја.

4.4. Електрицитет и срце

У стању мировања срчане ћелије су поларизоване, што значи да је њихова унутрашњост електронегативна у односу на спољашњост. Овај електрични поларитет одржавају мембранске пумпе које обезбеђују да распоред јона (првенствено калијума, натријума, хлора и калцијума) буде такав да унутрашњост ћелије постане негативно, а спољашњост позитивно наелектрисана. Срчане ћелије могу да изгубе свој негативни унутрашњи набој у процесу који се назива деполаризација. Деполаризација је основни електрични процес у срцу. Деполаризација се шири са ћелије на ћелију стварајући деполаризациони талас који се преноси кроз цело срце. Овај деполаризациони талас представља проток електрицитета тј. електричну струју коју могу да региструју електроде

постављене на површини тела. Пошто се деполаризација заврши, срчане ћелије поново успостављају свој потенцијал мировања у процесу који се назива реполаризација. Електроде на површини тела региструју и тај процес. Сви таласи који се виде на ЕКГ – у су манифестација процеса деполаризације и реполаризације. Уколико снимимо један деполаризационо – реполаризациони електрични циклус изоловане ћелије, добићемо дијаграм њене електричне активности звани акциони потенцијал. Напони који се мере на површини коже имају вредности од око 1 mV , а фреквенцијски припадају опсегу врло малих учестаности, од 0.1 Hz до око 100 Hz. Ови напони имају карактеристичан облик који је временски и амплитудно повезан са активностима појединих функционалних целина срца.

4.5. ЕКГ уређај

ЕКГ уређај се састоји од следећих делова:

1. електрода
2. кола за заштиту
3. бирача канала
4. предпојачавача
5. кола за изолацију
6. појачавача
7. система за меморисање и приказ ЕКГ сигнала

Електроде за ЕКГ уређаје и већину других електрофизиолошких мерења се израђују од комбинације сребро/сребро – хлорид (Ag/AgCl) зато што се тада не јавља површинска контактна поларизација ткива услед додира проводника различитог типа. Од велике је важности да електроде буду постављене на назначена места и да остваре добар контакт са кожом како не би дошло до појаве непотребних сметњи у сигналу (интерференција).

Разликујемо више типова површинских електрода које се користе за мерења ЕКГ сигнала. За стандардна клиничка мерења користе се виšekратне ЕКГ усисне електроде које се постављају на грудни кош приликом снимања као и ЕКГ електроде штипаљке које се постављају близу десне и леве шаке и на левом чланку. Постоје и површинске електроде за једнократну употребу које се користе за мониторинг виталних функција, дефибрилацију, холтере и слично.



Слика 4.3. Усисне електроде за виšekратну употребу



Слика 4.4 Електроде штипаљке за виšekратну употребу



Слика 4.5. ЕКГ површинске електроде за једнократну употребу

Коло за заштиту и изолацију служи да заштити пацијента од струје која може да дође на електроде и штити уређај од случајних великих сигнала.

Бирач канала. У уређајима који приказују мање од 12 канала (једноканални, троканални, шестоканални), постоји прекидачки систем који повезује поједине електроде на улазе инструментационог појачавача. Ако се примењује троканални ЕКГ, онда прекидач истовремено повезује биполарне одводе, огментиране и по три прекордијална одвода. Ако је уређај шестоканални, онда се истовремено повезују фронтални одводи и прекордијални одводи.

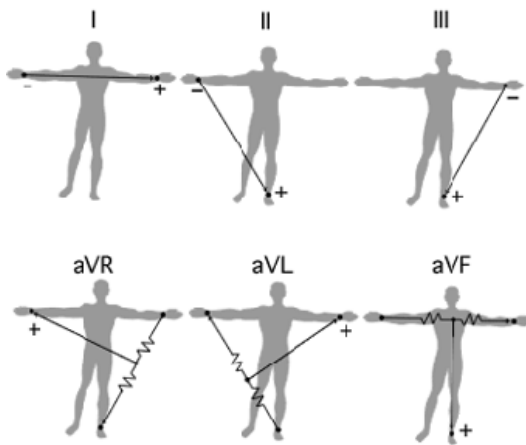
Предпојачавач је инструментациони појачавач са појачањем реда $A=2000$, са великом улазном импедансом за диференцијални и заједнички сигнал (већом од $10\text{ M}\Omega$ и $100\text{ M}\Omega$ респективно). Појачавач служи за прилагођење излазног напона улазном колу примењеног монитора или рачунара. Приказивање сигнала се врши помоћу осцилоскопа, писача са термалном главом, или рачунара.

4.6. Распоред електрода при мерењу ЕКГ сигнала

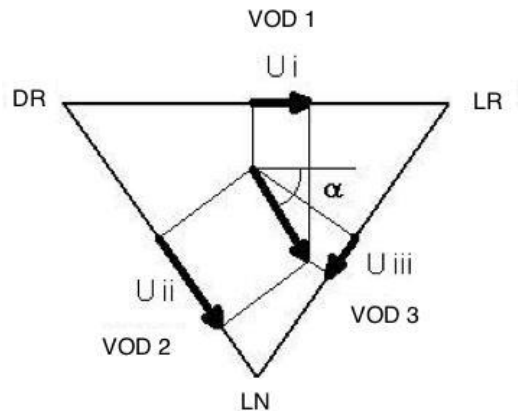
Холандски научник Ајнтховен, који је објавио прве резултате у области електрокардиографије, предложио је мерни систем од три електроде које су постављене близу десне и леве шаке и на левом чланку. Овај систем је по њему и назван Ајнтховенов распоред.

На основу ове три електроде се формира замишљени троугао који обухвата срце. На основу ових електрода се мере разлике потенцијала (напони) који се израчунавају и обележавају на следећи начин:

$$\begin{aligned}U_i &= V_{\text{leva ruka}} - V_{\text{desna ruka}} \\U_{ii} &= V_{\text{leva noga}} - V_{\text{desna ruka}} \\U_{iii} &= V_{\text{leva noga}} - V_{\text{leva ruka}}\end{aligned}$$



Слика 4.6. Ајнтховенов распоред



Слика 4.7. Троугао потенцијала

На основу ове три величине се може конструисати замишљени троугао потенцијала на начин приказан на слици. Цртеж се добија на следећи начин:

1. најпре се формира троугао линија: десна рука – лева рука (DR – LR), лева рука – лева нога (LR – LN) и десна рука – лева нога (DR – LN)
2. конструишу се симетрале страница троугла које се секу у тачки која ће представљати почетак главног вектора срчаног потенцијала
3. вектори претходно израчунатих напона (U_i , U_{ii} , U_{iii}) се наносе дуж страница троугла почев од средине странице и они представљају компоненте главног вектора срчаног потенцијала

4. из врхова вектора U_i , U_{ii} , U_{iii} повлачимо нормале на странице троугла и добијамо пресечну тачку која је врх главног вектора срчаног потенцијала који са хоризонталном осом заклапа угао α .

Овим поступком се реконструише, на основу потенцијала мерених са површине коже и вектора напона, вектор срчаног потенцијала. За потребе моделирања ових процеса, срце се представља као дипол који генерише поље чија се јачина мења у простору и времену и која се обележава као векторска величина коју смо описали. Компоненте главног вектора се мењају у простору и времену. Тако се и главни вектор мења у простору и времену па према томе се и угао α мења у простору и времену. За вредности угла α се показало да имају директну дијагностичку вредност. Тако се зна да је код здравих особа вредност овог угла – $10^\circ < \alpha < 90^\circ$, где је смер мерења угла у смеру казаљке на сату. Уколико се вредности угла смање испод – 10° тада се говори о "девијацији осе у лево"; односно код углова већих од 90° говори се о "девијацији осе у десно" (мисли се на осу главног вектора).

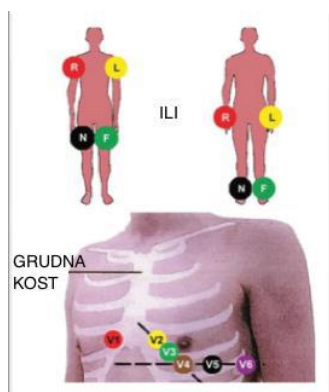
Приметимо још и да се овај цртеж налази у вертикалној равни. Да би смо у потпуности одредили просторни положај вектора потенцијала неопходна су додатна мерења односно додатне координате. Допунске информације се добијају помоћу додатних шест електрода које се постављају на грудни кош (видети слику у наставку) и које се обележавају са V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 и V_6 . На овим електродама се читавају потенцијали који се упоређују са референтном тачком и тако се добијају напони у тих шест тачака. Референтна тачка се добија тако што се три електроде на левој и десној руци и левој нози повежу у заједничку тачку преко отпорника чија отпорност износи $5\,000\,\Omega$. Та референтна тачка се назива Вилсонов централни прикључак (енг. *Wilson central terminal*).

У стандардном ЕКГ снимању се користе и три додатна напонска сигнала. Три преостала сигнала се добијају на основу прве три електроде. Ознаке и начин добијања ових напона је према следећем:

- aVR – **eng. augmented Voltage Right arm** – помоћни напон десне руке – представља напон између десне руке и референтне тачке добијене спајањем преостале две тачке троугла преко отпорника од $5\,000\,\Omega$. Истоветним принципом се добијају и два преостала напона за која дајемо само објашњење ознаке:
- aVL – **augmented Voltage Left arm** – помоћни напон леве руке
- aVF – **augmented Voltage Feet** – помоћни напон ноге (леве).

Уобичајено је да се овај распоред електрода назива Голдбергеров распоред (Goldberger).

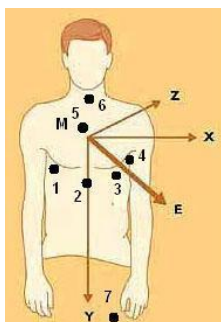
У клиничком ЕКГ снимању се користи:



Слика 4.8. положај електрода код ЕКГ – а

- укупно 9 електрода за мерење потенцијала на површини коже;
- на основу вредности потенцијала са девет електрода добијамо укупно 12 напонских сигнала (помоћу разлика потенцијала);
- напонске вредности се састоје из девет главних напона $U_i - iii$ и $V1 - 6$ и три помоћна напона aVL , aVF и aVR ;
- свих 12 напонских вредности представљају улазне параметре математичког модела којим се реконструише просторни положај и интензитет главног вектора срца.

4.7. Векторски кардиограм



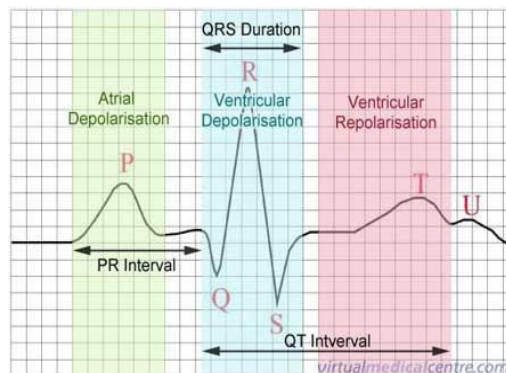
Слика 4.9. Векторски кардиограм

Векторски кардиограм је сличан претходно описаним ЕКГ мерењима, али на другачији начин представља рад срца. Овде се пажња посвећује управо просторно – временском представљању главног вектора срца. У векторској кардиографији се користи укупно седам електрода од којих се пет поставља на грудни кош (слика 4.9), а додају се још и електрода на врату и електрода на чланку леве ноге (тачка М се налази на леђима).

4.8. ЕКГ сигнал

ЕКГ сигнал је поновљив, сложено периодичан сигнал са карактеристичном морфологијом на којој се разликују карактеристични пикови који се називају таласи. Појава и облик појединих таласа су последица простирања акционог потенцијала кроз срце.

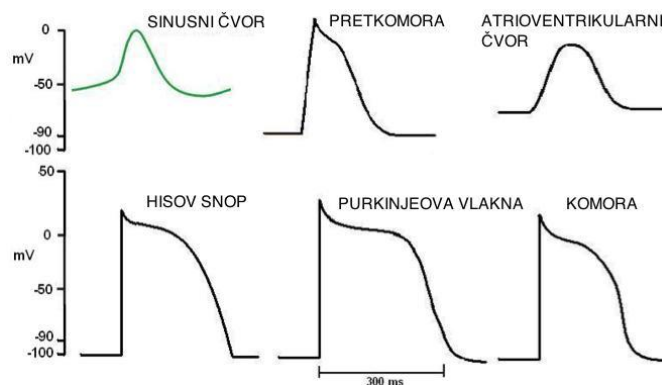
У синоатријалном чвору настаје електрични импулс, који се шири као талас, надражујући обе преткоморе. Док тај талас деполаризације тече кроз преткоморе, он истовремено изазива и талас преткоморне контракције.



Слика 4.10. Снимак ЕКГ – а

Овај електрични импулс шири се кроз преткомору и даје Р талас на ЕКГ – у. Талас деполаризације који се шири кроз преткоморе може да буде пренет до осетљивих делова коже на које се стављају електроде. Према томе, Р талас представља електричну активност контракције обеју преткомора. Импулс се затим преноси, кроз интернодални пут, до АВ чвора, за шта је потребно око 30 ms где настане пауза од приближно 90 ms, која омогућава да крв уђе у коморе. После те паузе, чвор је надражен и електрични импулс креће до Хисовог снопа. QRS комплекс представља електрични импулс на путу од АВ чвора преко Пуркинијевих влакана до миокардних ћелија. Пуркињеова влакна спроводе електричне импулсе ка миокардним ћелијама изазивајући симултану контракцију комора. Постоји пауза после QRS комплекса, а затим се појављује Т талас. Т талас представља реполаризацију комора тако да оне могу поново да буду надражене. Један срчани циклус сачињавају Р талас, QRS комплекс и Т талас. Тај се циклус непрекидно понавља.

Временски дијаграми потенцијала измерених на ткиву срца су од -50 mV до $+20\text{ mV}$ и приказани су на слици:



Слика 4.11. Дијаграми потенцијала измерени на срцу

Видимо да у преткоморском апарату (три дијаграма у првом реду) потенцијали настају и нестају спорије него у коморском апарату код кога се уочава и појава платоа (три дијаграма у другом реду).

4.9. Артефакти при снимању

1. Сметње услед интерференције са пољем које се ствара услед присуства сигнала који потиче од напајања (50 Hz или 60 Hz) представља највећи проблем у свим мерењима. Ова сметња се смањује коришћењем доброг уземљења и смањењем импеданси електрода.
2. Сметње услед интерференције са другим физиолошким сигналом (најчешће са ЕМГ сигналом који потиче од мишића). Ова сметња се не може уклонити филтрирањем, јер су оба сигнала делимично у истом фреквенцијском опсегу и

решење је постављање електрода на места на којима не стоји на струјном путу мишић који генерише ову сметњу.

3. Сметње услед покрета се манифестује померањем базне линије и могу се смањити постављањем предпојачавача веома близу електрода.
4. Сметње које се јављају у случају када је пацијент коме се снима ЕКГ прикључен и на стимулатор, на пример дефибрилатор, који генерише струјни импулс великог интензитета који треба да спречи фибрилације и омогући нормалан рад срца. Примењени напон је реда кВ, што је неколико редова величине веће од мереног сигнала.
5. Сметње услед лошег контакта електрода са кожом. Понекад ни антидрифт функција није у могућности да компензује лош положај електрода када се јављају високе разлике потенцијала и тада ће се уместо ЕКГ потенцијала појавити равна линија.

4.10. Примена ЕКГ – а

ЕКГ приказује тренутно стање срца и промене које су наступиле на срцу пре снимања, али има улогу у предвиђању потенцијалних проблема који се могу јавити у будућности. У случајевима када је потребно открити повремене промене у раду срца које се не јаве у току клиничке анализе, ЕКГ се снима у дужим периодима. Снимање тада траје 24h и реализује се помоћу ЕКГ уређаја који је интегрисан у преносни уређај за меморисање сигнала који се назива Холтер монитор. Помоћу ЕКГ – а врше се и снимања упоредо са мерењем крвног притиска и срчаног ритма у току вежбања под контролисаним оптерећењем како би се дијагностификовале слабости срчаног мишића.

У наставку дајемо примере неких најуочљивијих поремећаја у раду срца:

- Вентрикуларна тахикардија (VT) је појава када је срчани ритам исувише брз у фази одмора организма. За време тахикардије срце не пумпа крв довољно ефикасно као што је то случај код нормалног синусног ритма. Брзи ритам онемогућава правилно пуњење и пражњење комора крвљу и као резултат тога долази до слабије прокрвљености целог организма. VT је често последица исхемије.
- Вентрикуларна фибрилација (VF) је веома брзи и неправилни срчани ритам у коморама. VF је опаснија од VT зато што је целокупни систем пумпања крви дезорганизован. Крв се готово уопште не пумпа у организам и у таквој ситуацији веома често може доћи до изненадне срчане смрти. Људи овакво стање најчашће називају инфарктом. Уколико дође до инфаркта, вештачким путем тј. реанимацијом (CPR) се може избећи смрт и уколико се у веома кратком времену искористи екстерни дефибрилатор за поновно успостављање рада срца човека.

- Синус аритмија је појава када је синусни ритам неправилан тако да се интервали таласа појављују у неравномерним интервалима. Ова појава је врло честа у свим старосним групама.
- Синус тахикардија је појава када је синусни ритам већи од 100/мин. Јавља се најчешће као физиолошки одговор на физичку активност или психички стрес, али може бити и резултат срчане инсуфицијенције.

5. Електродермална активност (ЕДА) и респираторни циклус

ЕДА – електродермална активност код људског организма изазива континуиране промене код електричних карактеристика коже. Под ЕДА се такође подразумева и проводљивост коже, галванска отпорност коже, електродермални одговор ЕДР, одговор коже на проводљивост и ниво проводљивости коже. Сви ови називи су данас садржани у једном називу ЕДА.

Традиционална теорија ЕДА сматра да отпорност коже варира у зависности од стања знојних жлезда у кожи. Знојење је контролисано од стране симпатичког нервног система и проводљивост коже је показатељ психолошког и физиолошког узбуђења. Ако се у аутономном нервном систему региструје узбуђење, то узбуђење се региструје од стране симпатикуса и тада се повећава активност знојних жлезда, услед чега се повећава и проводљивост коже. На овај начин кожа може бити мера емоција и одговор симпатичког нервног система на који ми не можемо да утичемо. Новија истраживања нам говоре да све што смо навели не даје потпуни одговор на шта све утиче ЕДА и истраживања се и даље настављају.

Историја

1849. године Рејмонд је у Немачкој први пут приметио да је људска кожа електрично активна. Он је уроњавањем удова својих испитаника у цинк сулфат приметио да између удова код којих су мишићи напети и код којих су мишићи опуштени протиче струја. Због тога је он сва своја запажања о ЕДА приписао мишићима. Тридесет година касније 1878. године Херман и Лушингер (Hermann и Luchsinger) су показали везу између ЕДА и знојних жлезда. Херман је касније показао да је електрични ефекат био најјачи у длановима, на тај начин сугеришући да и зној игра важну улогу код проводљивости.

Вигора (Vigouroux, француски) је радио са пацијентима који су били у депресији и он је био први истраживач који је повезао ЕДА са психичком активношћу. 1888. године Фере је показао да се активност коже може променити емоционалном стимулацијом и та активност може да се изазове лековима. 1889. године у Русији Иван Таркхнишвил (Ivane

Tarkhnishvili) је приметио промене у електричним потенцијалима коже у одсуству било каквих спољашњих стимулуса и он је развио стандардизован уређај за мерење тих промена које су се могле и приметити у реалности.

Научна студија ЕДА је почела раних 1900 – их. Прво помињање коришћења ЕДА као инструмента за истраживање је дато у Јанговој књизи „Проучавање речи анализа“, која је објављена 1906. Јанг и његове колеге су користиле мерач за процену емоционалне осетљивости пацијента на речи са листе током асоцијација. Јанг је описао коришћење овог уређаја у својој књизи „Истраживање асоцијација“, а таква се употреба наставила и код других истраживања у пракси.

Контроверзни аустријски психо – аналитичар Вилхем Рајх је проучавао утицај ЕДА у својим експериментима на психолошком институту на Универзитету у Ослу 1935 и 1936. године да би потврдио постојање био – електричних промена после вегетације пријатним „вриштањем“.

До 1972. године, објављено је више од 1500 чланака о електродермалној активности у стручним публикацијама, а данас се ЕДА сматра за најпопуларнију методу за истраживање психофизиолошких феномена. Од 2013. године, коришћење ЕДА је све више у порасту у клиничким апликацијама.

Опис

Екстремитети код човека, у које спадају прсти, дланови и табани могу приказивати различите биоелектричне феномене. Ови феномени се могу открити на уређају који приказује промену електричне проводљивости између две тачке током времена. Активно мерење подразумева слање мале количине струје кроз тело.

Психолошка основа

Постоји веза између емоционалне узбуђености и симпатичке активности, иако електричне промене саме по себи не идентификују специфичне емоције које се могу видети. Ове промене утичу на јаче знојење и утичу на проток крви што утиче на галванску активност коже. Одговор коже и мишићног ткива на спољашње и унутрашње стимулансе могу да изазову и варирање проводљивости од неколико μS .

Комбиноване промене које се дешавају између електродермалног одговора и електродермалног потенцијала чине електродермалну активност. Галванска отпорност коже (ГСП) је старији термин који се користио код снимања електричног отпора између две електроде када је веома слаба струја протицала између њих. Електроде су постављене на размаку од 2,5 cm, а отпор се мењао у зависности од емотивног стања субјекта. Галвански потенцијал коже (ОСП) се односи на напон који је измерен између две

електроде када нема спољашње струје. Он се мерио тако што су електроде биле повезане са напоном појачала. Напон је бележио промене са променама емотивног стања субјекта.

Често и продужено претерано физиолошко узбуђење и тензија јесте узрок бројних психофизиолошких проблема. Овакво узбуђење настаје као последица стреса. Три физиолошка процеса су најчешће повезана са претераним узбуђењем, а то су мишићна тензија периферна вазоконстрикција и електродермална активност. У овом раду је од значаја електродермална активност па ћемо њу детаљније обрадити. –

Полиграф

ПОЛИГРАФ – детектор лажи (polygraph, The Lie Detector) је инструмент који је конструисан за истовремено бележење више података које настају приликом испитивања. Кад субјекат покуша да прикрије истину на одређеним питањима, уз помоћ психолошких тестова региструју се физиолошке промене које нису под контролом централног нервног система у дисању, крвном притиску, пулсу, знојењу.

Методe које користи полиграф су:

- ЕКГ;
- електродермална активност ЕДА;
- Респирација
- Крвни притисак.

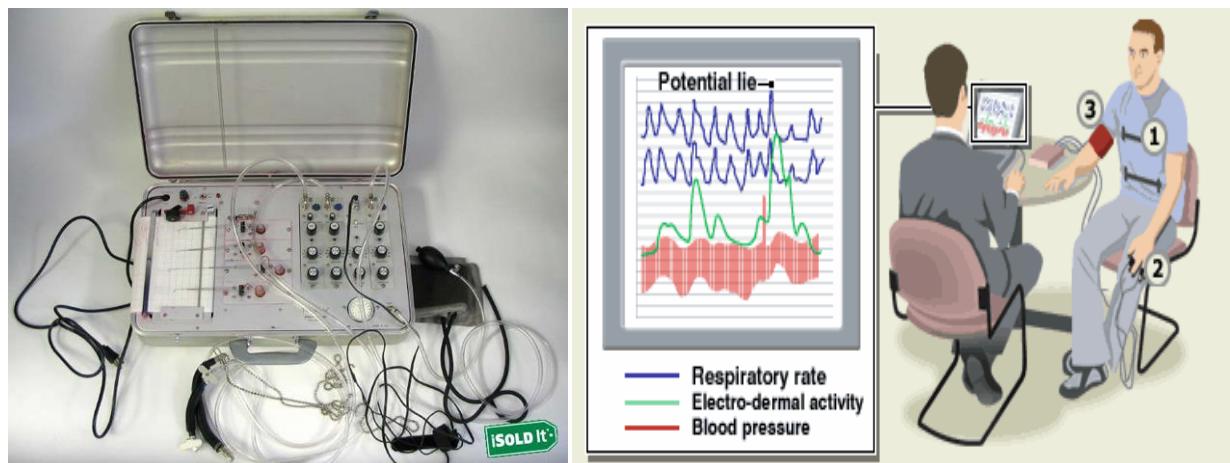
Друштво се одувек сусретало са изговореном лажи и против ове појаве покушавано је да се бори на начине који су одговарали времену у коме је та лаж изговорена. Историјат обмане стар је као и сама историја људског друштва. Познати су нам тестови, ради утврђивања истине, као што су: жвакање риже, виљци за палчеве, шпанске чизме, жар, вода итд. То су методи као и многи други који су коришћени кроз историју ради утврђивања нечије кривице. Научни приступ полиграфу почиње са Мосом и његовим Ерорграфом као и са Цезаром Ламбросиом. Он је употребио справе које су замислили и направили други научници у лекарске сврхе. Не може се сматрати оцем „детектора лажи“, али му се мора одати признање да је он био прва особа која је употребила хуману нараву за разоткривање лажи. Детектор лажи од Марстена 1915. године до Ларсена 1921. године добија контуре апарата који се на разликује по темељним принципима од данашњих. Прва полиграфска лабораторија, отворена у Чикагу 1930. године, била је снабдевена свим модерним апаратима и инструментима оног доба који су се у то време могли набавити за научно откривање злочина. У заједничкој држави (СФРЈ) апарат је набављен 1959. године, а успех је забележен већ 1960. године, у решавању кривичног дела убиства. То је знатно убрзало процес примене полиграфа на нашим просторима. Пројекат примене приватног полиграфа наишао је на велико интересовање.

Примена полиграфа:

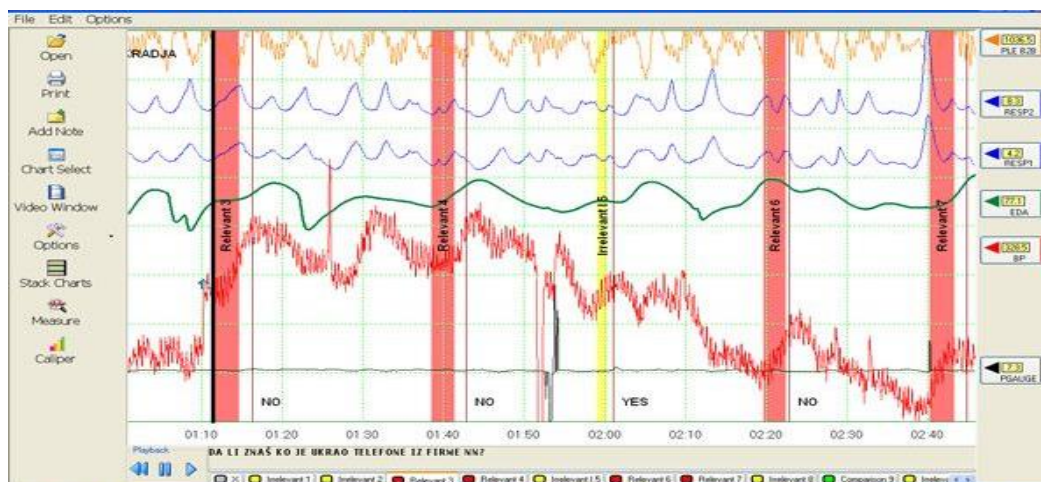
Кривичне истраге; предбрачни тестови; грађанске парнице; интерне крађе и преваре; сумње у неверство; индустријска шпијунажа; Разводи; Провера кандидата за запошљавање; наркоманија и алкохолизам; различити проблеми пословања; малолетничка деликвенција.

Која су лица погодна за полиграфско тестирање?

За полиграфско тестирање ПОГОДНЕ СУ све здраве особе оба пола од 18 – 55 год. старости. Малолетна лица не би требало испитивати путем полиграфа, а објашњење лежи у могућностима психолошких и кривично – правних компликација. Што се тиче горње старосне границе она није строго одређена и зависи од конкретног здравственог стања, али је познато да је услед старења већи број физиолошких и психичких функција у опадању што чини сметњу полиграфском тестирању. За овакав начин рада неподесни су: душевни болесници свих врста, особе под утицајем алкохола и наркотика као и разних лекова јер су им могућности реаговања ван граница нормале. Нису подесне особе које су дуже време провеле у затвору или притвору, јер су током истражног поступка већ испитиване на разне околности кривичног дела па су на тај начин дошле до сазнања о детаљима истог, као и због тога што је боравак у затвору условио појаву психонеуротичних и депресивних стања која ремете полиграфско тестирање. Такође нису погодне особе са ослабљеним слухом, видом, срчаним болестима, јако сниженим или повишеним крвним притиском, разним болестима респираторних органа, претерано гојазне особе, особе ометене у психичком развоју, као и оне које су у стању психичког шока, или су у разним постоперативним стањима, као и све друге особе са којима је вербални контакт немогућ.



Слика 5.1. Полиграф



Слика 5.2. Снимак полиграфа (детектора лажи)

5.1 Електродермални одговор – ЕДР: BSR-Basic Skin Response

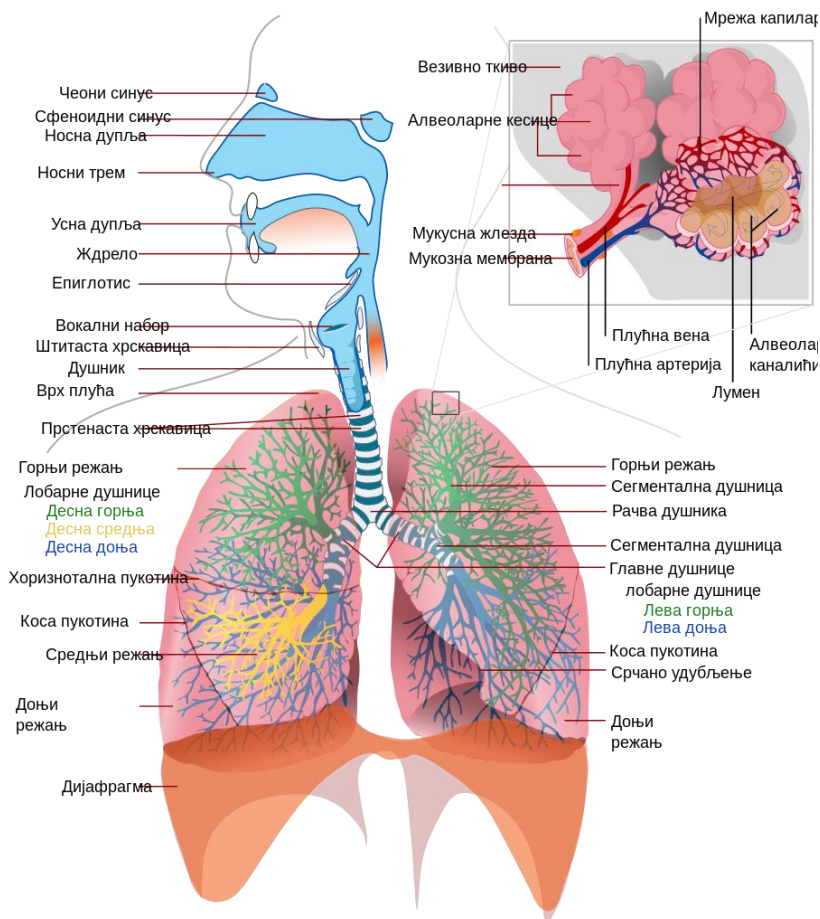
BSR је мера активности знојне жлезде на површини коже, најчешће на рукама. Мери се степен проводљивости зноја на површини коже. Зној у себи садржи електрично проводљиве соли, а што је кожа влажнија то је проводљивост већа, а отпор мањи. Многе људе карактеришу хладне руке и влажни дланови током стресних ситуација. Влажност дланова настаје због појачане активности знојних жлезда. Знојне жлезде излучују слани раствор као одговор на емоционалне и стресне стимулусе. BSR сензори се каче еластичним тракама на први и други прст леве или десне руке. Што је особа опуштенија то су руке сувље, и због тога је електрични отпор коже већи, а проводљивост мања. Стрес и анксиозност стимулишу секрецију знојних жлезда, руке постају влажније, а самим тим опада електрични отпор коже.

5.2 Систем органа за дисање

Дисајни систем је скуп органа који имају заједничку функцију, а то је измена гасова у организму. На овај начин у организам се уноси кисеоник који је неопходан за живот и рад свих органа и ткива као и због избацивања продуката размене гасова. Тачније речено, самом дисању тј. размени гасова највише служе плућа док остали органи мање више служе за одвод и довод ваздуха. У ваздушне путеве спадају нос, синуси, ждрело, гркљан и душник.

Нос – се дели се на спољашњи и унутрашњи. Спољашњи нос је прекривен кожом која директно прелази у кожу лица и садржи жлезде знојнице и лојнице. Има облик шупље пирамиде. На њему се разликују носни корен који сачињавају две носне кости, које

као да израђају са доње стране чела, а настављају се у носни хрбат. Од овог дела на десно и лево се спуштају носнице које служе за довод и одвод ваздуха. Изнад носа се у чеоној кости отварају чеоне коштане шупљине (синуси). Унутрашњи део носа је у ствари носна дупља прекривена слузокожом. Кроз ове отворе струји ваздух, који преко задњих нивоа носне шупљине, иде директно у гркљан. У најгорњем делу носне дупље налазе се посебна влакна за чуло мириса.



Слика 5.3. Систем органа за дисање

Такозвани доњи дисајни пут састављен је од гркљана и душника који се разгранавају у мрежу бронхија и плућа. Гркљан и плућа повезује душник.

Гркљан – се састоји од парних и непарних хрскавица које су међусобно повезане и које имају властите мишиће.

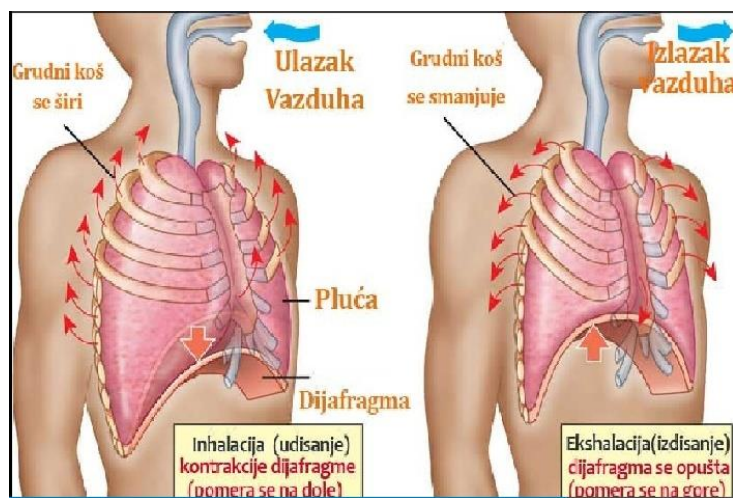
Душник – је цеваста творевина која води ваздух из гркљана у плућа. Он се завршава са две главне бронхије које се даље гранају у све тање гране и гранчице и на крају се завршавају са плућним мехуровима.

5.2.1. Плућа

Представљају главни орган система за дисање. Плућа су најважнији део „прибора“ за дисање. Налазе се у грудној дупљи и састоје се од два плућна крила. Плућа су шупљикав и еластичан орган, састављен од бронхија, огромног броја плућних мехурића, од којих је сваки окружен мрежом крвних капиlara. Кроз ендотел мехурића врши се размена гасова. Плућна марамица је танка опна која обавија оба плућна крила. Састоји се од два листа, од којих је један срастао са плућима, а други са зидом грудног коша.

Дисање представља високо интегрисани процес који укључује комплексне сигналне механизме у мозгу, можданом стаблу, кичменој мождини, кранијалним и спиналним живцима, уз координисано функционисање дијафрагме, међуребарних мишића, гркљана, ждрела, плућа и кардиоваскуларног система. Овај процес подразумева и учешће више различитих неуротрансмitera, неуромодулатора, рецептора, секундарних гласника.

Током удисаја грче се спољашњи међуребарни мишићи који повлаче грудну кост унапред, ребра бочно и на горе. Истовремено се грчи дијафрагма и као клип се спушта ка трбушној дупљи. На тај начин се грудни кош шири, а са собом вуче оба листа плућне марамице и за њих везана плућа. Плућа се шире и када притисак ваздуха у њима постане мањи од атмосферског притиска, ваздух улази у плућа. Током издисаја дијафрагма и међуребарни мишићи се опуштају, што доводи до скупљања грудног коша, чиме се притисак ваздуха у плућима повећава и када премаша атмосферски притисак ваздух излази у спољашњу средину. Дисање се код човека понавља 12 пута у минути и то под утицајем импулса, који се стварају у центру за удисај у мрежастој структури продужене мождине.



Слика 5.4. Удисај и издисај

5.2.2. Вентиляция плућа и плућни волумен

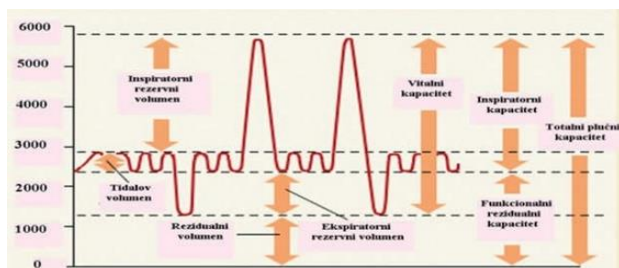
Обнављање ваздуха у плућима представља **вентиляцию плућа**. Током мирног дисања удахнемо и издахнемо 0,5 литара ваздуха и то представља **дисајни волумен**. Ширећи грудни кош, појачаним напором можемо да удахнемо још три литре ваздуха, и то представља **резервни дисајни волумен**. Напињањем трбушних и унутрашњих међуребарних мишића, после нормалног удисаја можемо да издахнемо још 1.2 литара ваздуха што представља **резервни издисајни волумен**. Збир ова три волумена представља витални капацитет плућа који је 4,7 литара.

5.2.3. Размена гасова у плућима и ткивима

Плућна мембрана је изузетно комплексан систем који се састоји од шест слојева. Укупна дебљина плућне мембране износи од 0,2 – 0,5 μm . Укупна количина крви у плућним капиларама износи у просеку од 60 – 140 ml. Кроз мембрану се гасови размењују пасивним транспортом – дифузијом. Дифузија кисеоника одвија се на нивоу почев од респираторних бронхиола наниже. Ипак, већина дифузије се одвија у алвеолама, које су окружене крвним капиларама. Када бисмо раширили алвеоле добили бисмо површину која покрива два тениска терена. Дифузија у алвеолама се одвија уз помоћ разлике притисака кисеоника између алвеола и крви. Кисеоник који доспе у алвеоле има парцијални притисак око 100 mmHg. Кисеоник који дифундује из ваздуха плућних мехурића у плућне капиларе везује се за хемоглобин у еритроцитима и настаје оксигемоглобин. Он отпушта кисеоник који дифундује у ткива и улази у митохондрије ћелија, где се користи за процесе сагоревања материја и добијање енергије за рад ћелија.

Угљен диоксид је један од нуспроизвода у метаболичким процесима. Он се раствара у плазми крви, која га затим преноси из ткува до плућа одакле се он избацује из тела. Када угљен диоксид уђе у капиларе, он реагује са водом и настаје угљена киселина. Та реакција се убрзава ферментима до 5000 пута. Већ у следећем тренутку ова киселина дисоцира на бикарбонатне јоне и у овом безопасном стању се преноси до плућа. Овим процесом је омогућено да се угљен диоксид 15 – 20 пута лакше транспортује.

5.2.4. Физика дисања



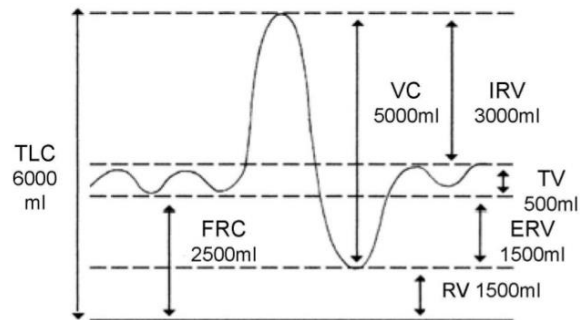
Слика 5.5. Плућни волумен у ml

Плућне запремине

- Тидалов волумен (TV) – један удах или издах током респираторног циклуса.
- Инспираторни резервни волумен (IRV) – снажан удах након нормалног удаха,
- Експираторни резервни волумен (ERV) – снажан издах након нормалног издаха.
- Резидуални волумен (RV) – остаје у плућима након најснажнијег издаха.

Капацитет плућа

- Инспираторни капацитет (IC) – $TV + IRV$.
- Функционални резервни капацитет (FRC) – $ERV + RV$.
- Витални капацитет (VC) – $IRV + ERV + RV$.
- Тотални капацитет плућа (TLC) – $IRV + ERV + RV + TV$.



RV – rezidualni volumen	FRC – funkc. rezid. kapac.
ERV – eksp. rezervni vol.	TV – tidal volumen
IRV – insp. rezervni vol.	VC – vitalni kapacitet
TLC – totalni kapac. pluća	

Слика 5.6. Спирометрија запремине и капацитети

6. Теорија боја

Електромагнетно зрачење је комбинација осцилујућег магнетног и електричног поља, а представља енергију која се емитује у облику таласа као последица кретања наелектрисаних честица. Кретање наелектрисања доводи до настанка магнетног поља, а ако долази до промене кретања (повећања брзине) доћи ће и до промене самог магнетног поља, које заузврат ствара електрично поље. Различите врсте електромагнетног зрачења разликују се само по таласној дужини и фреквенцији. Особине електромагнетног зрачења зависе од његове таласне дужине. Цели опсег таласних дужина електромагнетног зрачења представља електромагнетни спектар и он обухвата: гама зрачење, рентгенско зрачење, ултраљубичасто зрачење, видљиву светлост, инфрацрвено зрачење, микроталасно зрачење и радиоталасе.

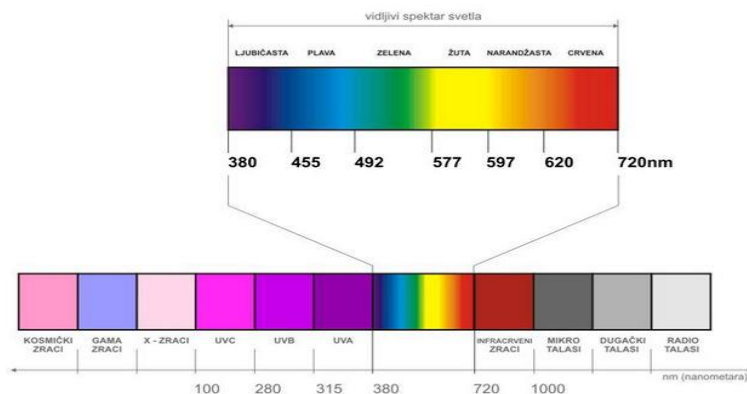
Откриће сунчевог спектра: Исак Њутн је 1666. открио да сноп сунчевог светла, то јест да се бела светлост, на путу кроз стаклену призму распршује на неколико саставних боја – односно даје сунчев спектар (слика 6.1). Ти обојени зраци проласком кроз друге призме стварају поново белу светлост. Његов експеримент је доказао да боје настају у самом светлосном зраку, а не у призми.



Слика 6.1. Њутнова оптичка лабораторија, обојена гравура из XIX века, непознати аутор

Сликом једног непознатог аутора са техником гравуре (дрворез) је приказан могући Њутнов експеримент из 1666. у вези кретања светлосних зрака односно расипања светлости помоћу оптичке призме. Слика пукотине је пројектована на бело платно. Њутн је написао дело под насловом „Оптика или расправа – проучавање о рефлексији, рефракцији, инфлексiji и боја светлости као две расправе о врстама и магнитудама криволинијских фигура”. Ово дело је објављено у Лондону 1704. у издању Краљевског друштва (Royal Society).

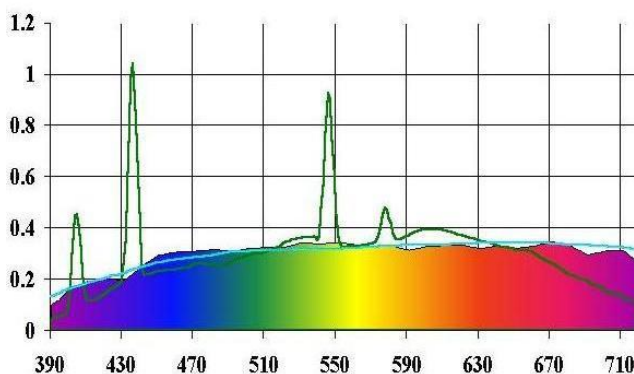
Видљива светлост је електромагнетни талас у опсегу таласних дужина од 380 – 720 nm (слика 6.2). То је само мали део свих постојећих таласних дужина. Светлост коју ми видимо није једна таласна дужина, већ комбинација много таласних дужина (Bailey and Holloway, 1979). На слици 6.2 приказан је електромагнетни спектар са расподелом таласних дужина и издвојеним опсегом видљиве светлости.



Слика 6.2. Електромагнетни спектар

Појаву спектралних боја Њутн је објаснио таласном природом светлости и таласном дужином појединих боја. Црвени део спектра одговара већим таласним дужинама, а љубичасти део спектра краћим. Када извор електромагнетног зрачења садржи мање енергије од црвене светлости људско око га не може видети, највише што се тада може осетити је топлотни ефекат електромагнетног зрачења. Приликом селективне апсорпције утисак боје који се јавља у човеку је тзв. комплементарна боја у односу на боју која одговара апсорбованом делу видљиве светлости (Чековић, 2001). Њутн је себи представљао светло као најмањи део разложене материје, као честицу. Касније се његова теорија диференцирала у модерну таласну теорију светлости. Веће таласне дужине светлости се појављују као црвена боја, а мање таласне дужине имају наранџаста, жута, зелена, светло и тамно плава боја и љубичасти. Боје су дакле компоненте спектра видљиве светлости са различитим таласним дужинама односно фреквенцијама.

Расподела интензитета спектралних линија видљиве светлости (spectral power distribution – SPD) показују појаву боје од извора светлости помоћу дијаграма функције енергије зрачења у зависности од таласних дужина или фреквенција. SPD дијаграм сунчеве светлости у подне јасно показује балансиран извор светлости. У овом делу спектра све таласне дужине видљиве светлости су присутне и приближно су једнаког интензитета. У односу на вештачки извор светлости, сунчева светлост представља велику количину енергије сконцентрисане у плавом и црвеном делу спектра. SPD дијаграми могу бити корисни за боље разумевање природе различитих извора светлости (слика 6.3).



Слика 6.3. Раподела интензитета спектралних линија дневне светлости

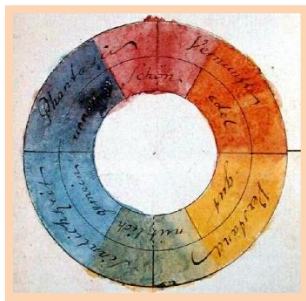
6.1. Гетеова теорија боја

О теорији боја први значајни рад је дао познати немачки књижевник, филозоф, природњак и политичар Гете (Johann Wolfgang von Goethe). Он је рођен 1749. у Франкфурту на Мајни, у Електорској кнежевини Хесен (Francofurtum ad Moenum, Porofrancum ad Moenum, Frankfurt am Mein, Hassiae, Hessen), живео је и преминуо је у Вајмару, у Електорској кнежевини Тирингиа (Wimaria, Vinaria Thuringiae, Werimar, Türingia, Tiringia). Период када је Гете живео у Вајмару, називају „Епохом класичног Вајмара или златно доба Вајмара, када су сем Гетеа тамо живели и радили Шилер (Johann Cristeph Friedrich von Schiller, 1759 – 1805), Виланд (Cristoph Martin Wieland, 1753-1813), Хербер (Johann Gottfried von Herder, 1744 – 1803) и композитор Франц Лист (Lkiszt Fernec, 1811 – 1886). Што се тиче науке, Гете се бавио ботаником, анатомијом, минералогиијом. Из аспекта филзофије проучавао је Естетски критицизам. Био је Велики војвода, радио је у служби Вајмарског двора од 1776. године. Током сјајне каријере, бавио се књижевношћу, лириком, драмом и биографским и аутобиографским делима.



Слика 6.4. Ј.В. Гете, Уље на платну, 1828. рад сликара-портретисте Штилера , 1781-1858), Минхен, Галерија лепе уметности.

Научно дело „Теорија боја” (Zur Farbenlehre) објављено је 1810. године. Књига садржи неке од најранијих и најпрецизнијих описаних феномена као што су обојене сенке, рефракције и хроматске аберације. Ова књига пружа каталог како се боја доживљава у широком спектру. Гете је 1810. објавио 5000 страница своје теорије о бојама, на којој је до тада радио 40 година. У теорији боја видео је свој велики допринос културном и научном благу човечанства. За разлику од Њутна, Гетеова брига није била усмерена на аналитички третман боје, него на квалитет перцепције боја. Филозофи су хтели да схвате разлику између оптичког спектра, као што је посматрано по Њутновој теорији, а феномен људске перцепције боје како је представио Гете, а предмете анализиране у дужини по Витгенштајну (Ludwig Josef Johann Wittgenstein, 1889 – 1951). Уместо постављања модела и објашњења, Гете је прикупљао узорке. Био је одговоран за метеоролошке збирке Универзитета у Јени (Jena University). Према Гетеу боје настају кроз међу дејствовање таме и светлости. Поглед посматрача ка светлости (сунцу) и таме (црна васиона) прелама се кроз полупрозрачну – замућену атмосферу. Овај круг боја је приказан у складу са данашњим конвенцијама. Са леве стране се налазе топле, а са десне стране хладне боје. Иза тога стоји идеја да је прво била бела светлост (лево су светле боје), а затим тама (десно су тамне боје). Гете је повремено цртао круг боја и обрнуто. Стављао је хладне боје – љубичасту и плаву на леву страну, а топле боје – жуту и наранџасту на десну страну.



Слика 6.5. Кружница боја као симбол људског духа и духовног живота 1809. (Colour Wheel 1810. Johann Wolfgang von Goethe)

Гете је у својој монографији критиковао Њутнову теорију боја, али је још био подложен мистицизму, јер у теорију боја је унео и мистичну теорију. Палета његових боја је приказана са кружницом, која уједно и симболизује разна психолошка стања и расположења. Он је тиме желео повезати утицај боја на психичко стање, што неки и данас чине, у оквиру хромотерапије, међутим његова монографија о „Учењу о бојама” (Farbenlehre) се сврсатава међу најнапредније стручне литературе о колористици у првој половини XIX века. У Гетеовом кругу боја пурпурна (горе) и зелена (доле) налазе се једна преко пута друге (слика 6.5). Пурпурна боја је за Гетеа градација свих боја (динамична тачка круга боја ка којој све стреми). Насупрот томе је зелена тачка мировања спектра боја и ту долази до равнотеже између светлости и таме. Боје које се налазе једна преко пута друге су код Гетеа комплементарне. Боје које се у кругу боја налазе једна преко пута друге

Гете одбацује као комбинацију боја, зато што је контраст премали. Он је сматрао да су комбинације боја попут жуте и наранџасте досадне.

Гете је мислио да су боје које су повезане врховима два троугла, карактеристичне и усклађене. Од свих Гетеових списа, његово дело „Учење о бојама“ је сигурно најнеобичније. У њему тај велики научник и песник одступа од свега са чим га иначе повезују. Његови отворени напади на Њутна, као свог архи непријатеља, наука је осуђивала и делом због тога игнорисала Гетеово обимно дело све док га физичари попут Едвин Херберт Ланда (Edwin Herbert Land, 1909 – 1991) и квантни физичари као што је Варнер Карл Хајзенберг (Werner Karl Heisenberg, 1901 – 1976) нису 150 година касније поново открили. Сам Гете је кратко пре него што је умро изјавио да је „Учење о бојама“ његово најзначајније дело.

6.2. Перцепција боја

Томас Јанг (Thomas Young), енглески физичар, лекар и професор филозофије природе, на Краљевском институту у Лондону је 1801. у оквиру своје „Теорије боја“, критиковао корпускуларно схватање природе светлости, а подржавао таласну природу светлости. Помоћу те теорије је 1802. објаснио појаву интерференције, а 1817. је поставио хипотезу о трансверзалној природи светлости. Помоћу те теорије је објашњавао појаву поларизације светлости, а истицао је и да свака таласна дужина представља једну конкретну боју. Јанг је претпостављао, да око преноси боје на тробојном принципу са три групе живчаних влакана. По Јангу, три нервна влакна делују као рецептори за одређену примарну боју: црвену, плаву и зелену. Када је у питању око, Јанг је мрежњачи приписао осетљивост на таласне дужине светлости (Bailey and Holloway, 1979, стр. 18).

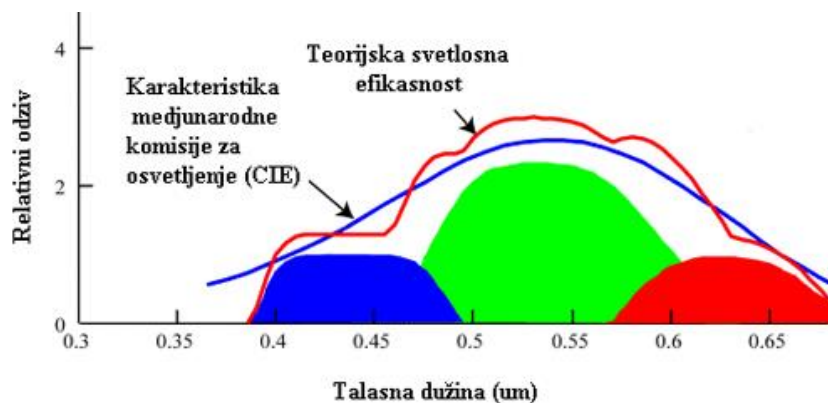


Слика 6.6. Томас Јанг, (Thomas Young , 1773 – 1829), уље на платну, 1922. од аутора Хјуа Голдвина Ривера (Hugh Goldwin Riviere, 1869-1956) или од Мејбела Беатриса Месера (Mabel Beatrice Messer, 1874 – 1950), колекција енглеског Краљевског института.

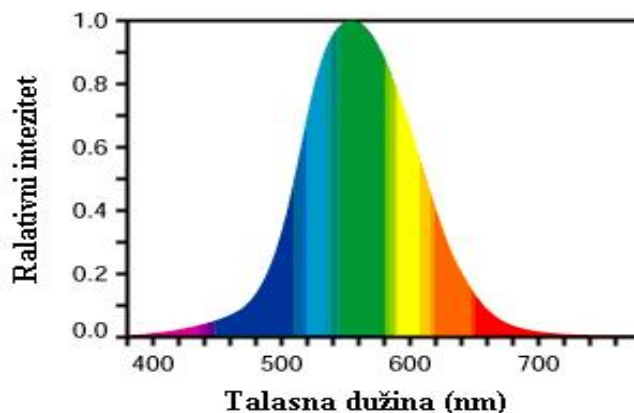
6.2.1. Савремена теорија боја

По данашњем схватању, људско око ради на принципу који је сличан дигиталном фотографском апарату или филмској камери. Код дигиталне камере, на месту мрежњаче људског ока је смештен сензор (Complementary metal – oxide – semiconductor, CMOS), код које одређена количина светлости пролази кроз објектив фотоапарата и пада на површину сензора, који се састоји од милиона светлосно осетљивих фотодиода (пиксела) и на којој се ствара електрични напон. Такав напон у ствари је аналогни сигнал који се помоћу аналогно – дигиталног конвертора дигитализује и затим шаље главном процесору за слике, у којем настаје коначан производ – дигитална фотографија. Уграђени чипови су црно-бели сензори и као такви нису у стању да региструју боје, него само јачину светлости која пада на њих. Да би сензор био у стању да „види” боје, на површину сваког од њих поставља се одређени оптички RGB (Red, Green, Blue) филтер односно Бајерова мрежа или мозаик (Bayer pattern), која има функцију да раставља светлост која пада на чип на три основне компоненте (боје) – црвену, зелену и плаву – и због тога сваки појединачни пиксел „види” само једну боју, док се остале (две) компоненте одређују софтверски на основу једне познате користећи одређени алгоритам за реконструкцију (демозаик алгоритам). Најједноставнији и најраспрострањенији начин за реконструкцију свакако је интерполација, која на основу средње вредности суседних пиксела одређује боју која недостаје.

Код људског ока, сваки неурон је представљен помоћу штапића (rod) или чепића (cone). Само су чепићи осетљиви на боју. Човек у оку поседује специјалне ћелије за детектовање боја. Разликују се три врсте чепића: чепићи за црвену, зелену и плаву боју. Свака од ових ћелија различито реагује на фреквенцију спољашње светлости. Сlike 6.7 и 6.8 показују спектралну осетљивост чепића и светлосну ефикасност људског ока (слика 6.9).

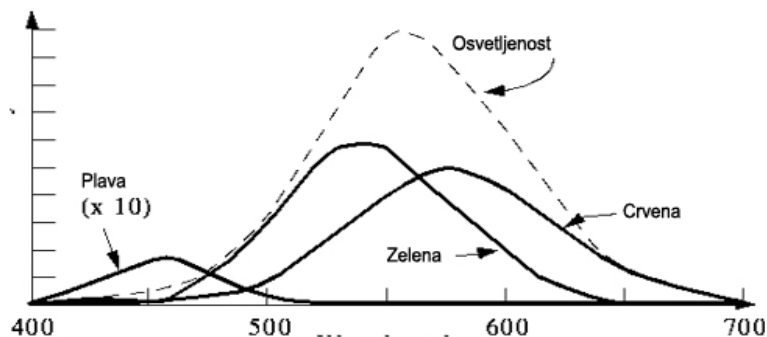


Слика 6.7. Функција светлосне ефикасности људског ока



Слика 6.8. Одзив људског ока на дневну светлост

Код оцењивања боја служе дијаграми од којих је основни дијаграм одзив људског ока на дневну светлост, где зелена светлост има највећи утицај на рецептор и његов релативни интензитет износи 1,0, а таласна дужина која је у nm износи око 550 nm. То је највећи интензитет. Осетљивост на остале боје је знатно мања и његове таласне дужине су такође мање (слика 6.8). Људско око је још осетљиво и на светло плаву, као и на жуту боју. Знатно мање је осетљиво на тамно плаву и наранџасту боју, док је најмање осетљиво на црвену и љубичасту боју. За доживљај боје неопходно је имати квалитетан извор светлости, као и објекат са чије површине се рефлектује светлост, око и мозак посматрача (чуло вида – рецептор). Међусобно дејство ова три чиниоца даје утисак боје и ово је један изузетно компликован след догађаја, тако да је за разумевање боје често потребно познавати и аспекте који не спадају у домен нашег примарног интересовања.



Слика 6.9. Спектрална осетљивост конусних ћелија на одговарајућу основну боју (плава, зелена и црвена, испрекиданом линијом је приказано оно што човек види као сјај)

На основу функције RGB, израчунате су спектралне расподеле снаге $E(\lambda)$ и функције спектралне осетљивости $SR, G, B(\lambda)$ у функцији промене таласне дужине (слика 6.9). Сигнал боје долази до мозга као резултат рада конусних ћелија за три основне боје посматраног спектра. Од 1870. истраживања у вези са бојом поделила су се у два различита правца адитивна синтеза у супстрактивну теорију. Ове нове боје биле су уствари, супстрактивне примарне као адитивне примарне, две од њих чиниле би трећу. (Bailey and Holloway, 1979).

Посебно се дефинишу боје у офтамологији. Зависно од осетљивости рецептора који могу бити стимулирани светлосним зрацима различите таласне дужине S (short) са кратким таласима назива се β (бета) чије је подручје од 400 – 500 nm са максимумом од 420 – 440 nm. Рецептори који су стимулирани светлосним зрацима средње таласне дужине (видљиве свестлости) M, γ се налазе у подручју таласних дужина 450 – 630 nm са максимумом осетљивости 534 – 545 nm. Рецептори који су осетљиви на дуге таласе L (long) или ρ у подручју видљиве светлости од 500 – 700 nm са максималном осетљивошћу између 564 – 580 nm. Људски мозак из ових информација ствара представу о појединим бојама. Генетски гледано L и M рецептори се наслеђују путем X хромозома. Њихове мутације доводе до грешака у виђењу боја тако да долази до стварања многих варијаната OPN1LW гена који је проучавао Верели Тискхоф (Verelli Tiskhoff, 2004, 263 – 375), укупно 85 код 236 мушкараца. Овај ген кодира жуту боју.

Бела и црна боја су ахроматске боје, а хроматска светлост која потиче од основних надражајау трихроматском систему означава примарне боје (Colour Primaries). Уколико се на неку површину рефлектује нека примарна боја, или сама површина има своју боју, или важе оба услова, тада је спектар неједнак са аномалијама и говори се о бојама које се пеципирају. Сем људског ока инструментално се метрика бави и овим проблемом. Психичко стање посматрача утиче на перцепцију, што се нарочито јавља код сукцесивних бојених контраста односно оцењивања бојених надражаја по неком редоследу. Зато код израза боје има доста полемике нпр. код видљивих и невидљивих боја, код активности ретине разликовање таласних дужина. Фото пигменти у људском оку разликују три боје (црвену са таласном дужином 625 – 750 nm) и то се означава ознаком R која је у светлосним координатама на првом месту. Нијансе које се користе су цинобер црвена, затим кармин црвена, бургунду црвена, бордо, боја пламена, пурпурна и крв црвена. У природи карактеристичну црвену боју има птица Erithacus – птица попут коса (Црвендаћ). Црвену боју има биљка Ариш (Larix Decidua), црни лук (Alium сера) из породице Љиљана.

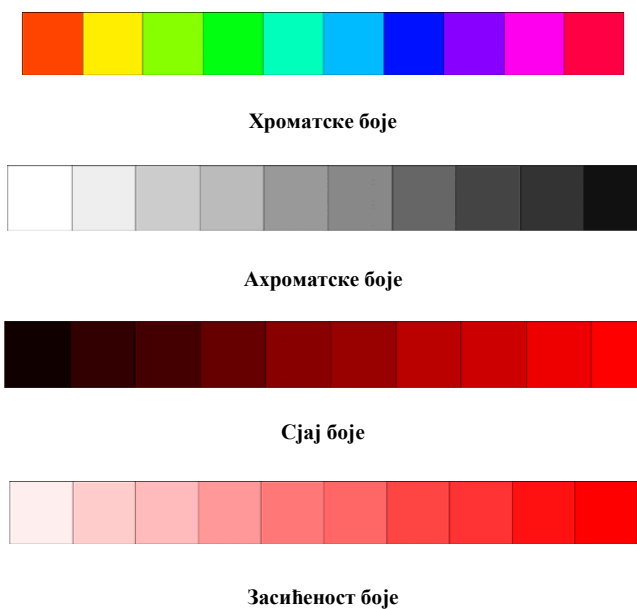
6.2.2. Психофизичке карактеристике боја

Боје осим таласне дужине карактеришу и три својства:

1. Тон боје или тоналност боје је квалитет боје одређена таласном дужином зрака светлости, које у оку изазивају осјећај те боје. Односно, то је квалитетно својство којим се нека боја разликује од сиве боје. Тон боје означава врсту боје односно боју саму по себи.
2. Степен засићења или количина белог (сатурација) је мера за засићеност боје или чистоту боје. Степен засићености говори о одсутности беле боје у некој боји. Мали степен засићења каже да је боја бледа.
3. Степен тамноће, светлина или луминанција је садржај црне боје у некој боји. Степен тамноће код чега црно даје највећи степен тамноће, тон боје је једнак нули.

Светло настаје у изворима светлости могу бити примарни и секундарни. Осим од примарних извора (Сунце, свећа, сијалице) до нашег ока долази и светлост из секундарних извора односно свих тела из наше околине. При томе ће та тела рефлектовати, апсорбовати или пренести примљену енергију зрачења. Управо о тој рефлексији, апсорпцији или трансмисији зависи боја тела.

Приликом рефлексије или трансмисије светлости тело ће увек део примљене светлости апсорбовати тако да ће боја тела зависити од апсорпционих својстава његове површине. Бела површина у једнакој мери рефлектује сва таласна подручја беле светлости, док црна површина потпуно апсорбује такву светлост, сива површина ће делимично, али у једнакој мери рефлектовати сва таласна подручја беле светлости. Бела, црна и сива боја немају карактеристично таласно подручје, па се зато не сматрају правим (хроматским), већ ахроматским или неутралним бојама (слика 6.10).



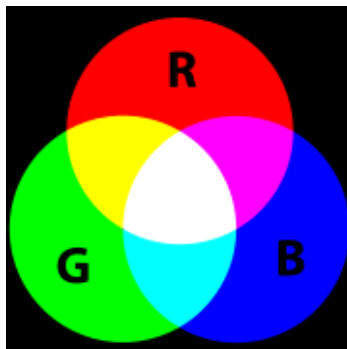
Слика 6.10. Карактеристике боја

6.2.3. RGB модел боја

Два основна модела за представљање боја су: адитивни (RGB) и суптрактивни (CMKY). Модел боја је спецификација 3D координатног система боја. Циљ модела боја је да омогући погодну спецификацију боја унутар неке скале боја.

Светлосни (адитивни) модел: боју доживљавамо као енергију светлосног извора. Ако се активирају два извора светлости (нпр. црвене и зелене боје), сигнали црвене и зелене конусне ћелије биће сабрани и мозак ће то интерпретрати као жуту светлост. Максимална екситација свих конусних ћелија ствара ефекат беле светлости. Адитивни модел настаје додавањем (addition) боја. То је тзв. RGB модел са три основне боје:

црвеном, зеленом и плавом. Црвене, зелене и плаве тачке светле када их „удари” електронски зрак, а око види комбинацију црвеног, зеленог и плавог.

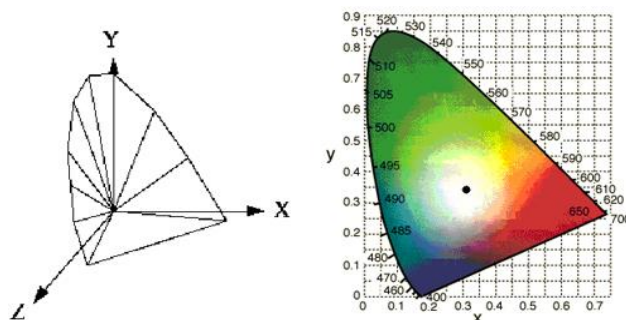


6.11. Адитивни модел боја – RGB

Боја се може представити као сума три боје. То значи да боје формирају тродимензионални векторски простор. На слици 6.11 је приказан изглед три основне боје потребне за представљање свих таласних дужина видљивог спектра. Када се упадни угао сунчевих зрака мења, кроз атмосферу пролази плава светлост која се назива „Небеско плава“, која може бити најчешће азурна плава боја.

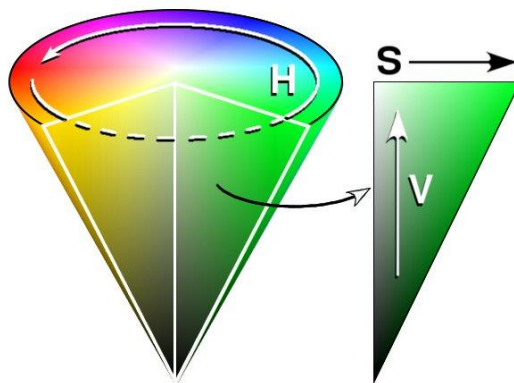
За лаку синтезу боја потребно је да све вредности са графика буду позитивне. Зато је међународна комисија за осветљење (CIE – Commission Internationale de L'Eclairage) 1931. дефинисала три стандардне основне боје (X,Y,Z). Све видљиве боје су у «потковици» обликованом конусу у X – Y – Z простору. Ако посматрамо раван $X+Y+Z=1$ и њену пројекцију на X – Y раван, добијамо CIE дијаграм боја (CIE chromaticity diagram) (слика 6.12).

Ивице представљају чисте боје тј. синусоидне таласе са одговарајућом фреквенцијом. Бела боја се налази на месту тачке, а емитована бела светлост је иста као да је емитује црно тело на температури од 6447 К. Приликом додавања, било које две боје (односно тачке на CIE дијаграму боја) резултујућа боја, односно тачка се налази на линији између тих тачака.

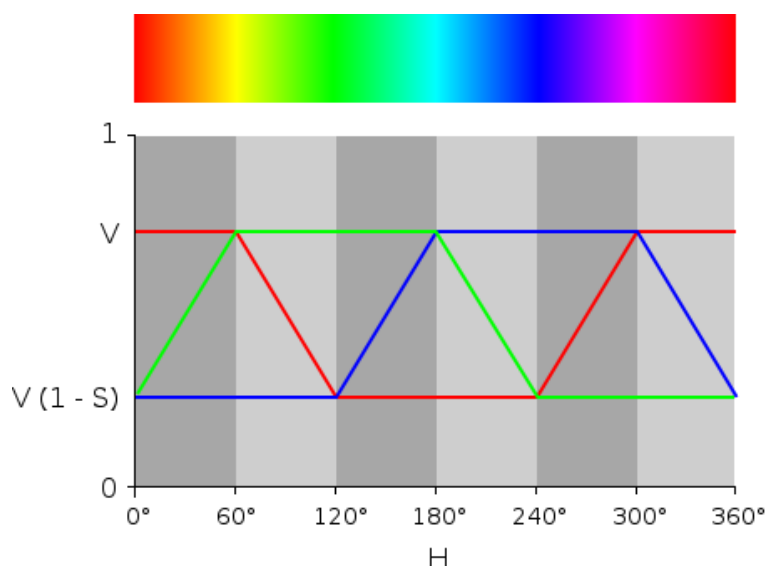


Слика 6.12. CIE дијаграм боја (Ступар 2006)

HSL (Hue – Saturation – Brightness) i HSV (Hue – Saturation – Value) представља RGB модел боја који је развијен помоћу компјутерске графике код едитовања слика, нарочито са програмом Color tool, Color picker (графички софтвери). За RGB модел најчешће се користе HSL цилиндричне координате приликом анализе слика и у такозваној Компјутерској визији (Computer vision). Користе се цилиндричне координате чије се репрезентативне тачке проналазе помоћу RGB модела. Важно је овде истаћи да нијансе боје HUE (енг.) приказује простором коничне површине (слика 6.13).



Слика 6.13. HSV представљање боја, са RGB координатама

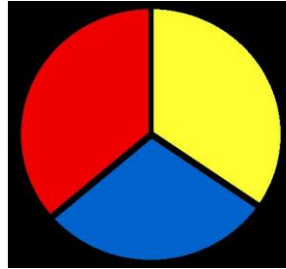


Слика 6.14. HSVG – RGB компарација боја, са максималним засићењем свих нијанси боја (Hue)

Код компјутерске анализе RGB по Евансу Хансону (W.T.Hanson) и Бреверу (W.Lyle Brewer) боја се може приказати помоћу шестоугаоника или тролинеарном баријером чиме се нијансе комплетно дефинишу са RGB координатама. Од 0° се добија црвена боја, од 120° зелена и од 240° се добија плава боја.

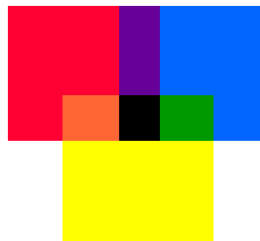
6.3. Подела боја

Боје се деле на основне, секундарне и терцијарне. Основне или примарне боје су: црвена, плава и жута боја. Оне се не могу добити никаквим мешањем других боја, зато су основне боје од којих се могу изводити друге.



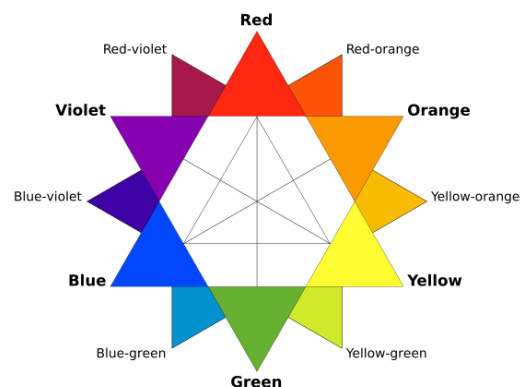
Слика 6.15. Основне боје

Секундарне боје настају мешавином примарних боја, и то су: наранџаста, зелена и љубичаста боја.



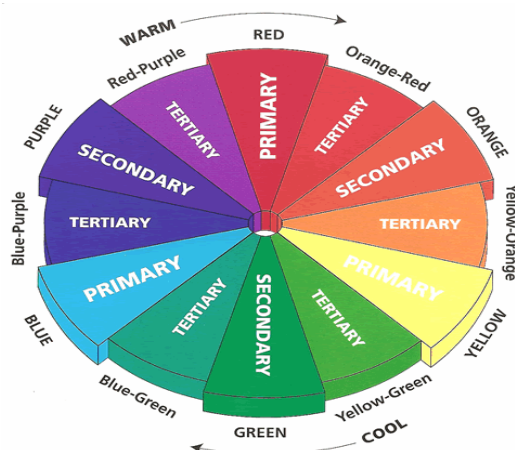
Слика 6.16. Секундарне боје

Терцијарне боје настају даљом мешавином секундарних боја, тако да добијамо: жуто-наранџасту или црвено-наранџасту боју, затим плаво-зелену, жуто-зелену боју, црвено-љубичасту и плаво- љубичасту боју. А даљим мешањем боја долази до појаве сивих тонова.



Слика 6.17. Терцијалне боје

Даље се боје могу делити на: топле – тонови црвене, жуте и наранџасте, и хладне – плава, зелена и љубичаста, с тим да секундарне боје зелена и љубичаста могу бити топле или хладне у зависности од тога која примарна боја преовлађује (тако имамо плаво-зелену која је хладна, али и жуто – зелену која “агиње” ка топлим бојама).



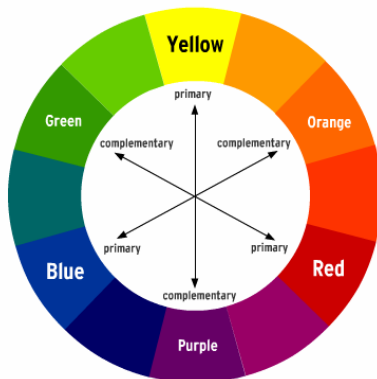
Слика 6.18. Топле и хладне боје

Хладне боје нам делују хладно, прозрочно, опуштају нас (небо, вода, магла). За разлику од хладних, топле боје нас позивају на акцију, узбуђују нас или нас иритирају. Помислите на ватру, крв или упозоравајуће саобраћајне знаке.

Комплементарне боје су оне боје које у кругу боја леже једна насупрот другој. Свакој основној боји је комплементарна одговарајућа секундарна боја у кругу.

Тако добијамо комплетарне парове:

- црвену и зелену
- плаву и наранџасту
- жуто и љубичсту.



Слика 6.19. Комплементарне боје

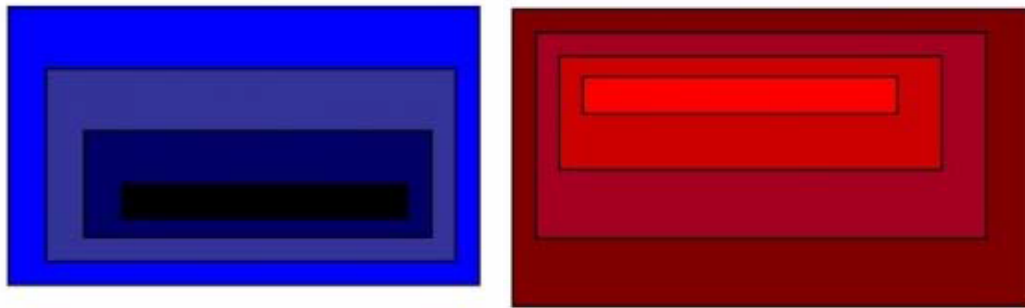
Контрасти топлх и хладних боја

Неке боје доживљавамо као топле неке као хладне. Коришћење само топлх или само хладних боја није пријатно тако да је најбоље успоставити равнотежу ових боја.

Контрасти динамичких и статичких боја

Својство топлх боја да се сагледавају као да су изван површине и хладних боја да се сагледавају у некој дубини даје изузетну динамичност одређеним комбинацијама.

Црвена боја се на пример доживљава изван површине, а плава се доживљава дубински. Када се јасном црвеном тону да плави акценат, оптички се доживљава да се површина плаве боје налази испод црвене. Топле боје делују оштро и угласто, а хладне меко и питомо. Постављене поред динамичних боја, статичне боје смирују композицију и делују мирније. Статичне боје су бела, црна и сива у разним нијансама.



Слика 6.20. Контрасти динамичких и статичких боја

6.4. Дејство боја

Боја изазива одређене ефекте како психолошке, тако и физиолошке. Колико и какво дејство има боја на људски организам најбоље показју истраживања хромотерапије – лечење разних болести путем боје, као што су поједина душевна стања и обољења, циркулација крвотока – на пример појачан пулс човека ако се налази у просторији са црвено обојеним зидовима, појава анемије или апатије код деце као реакција на црвено-жуту боју и тако даље.

Од нарочитог значаја је да боја визуелно комуницира са човеком и његовом свешћу, тако да ствара одређене емоције и утиске и на основу тога се у човеку формирају закључци и одлуке. У том смислу бројна научна истраживања потврдила су улогу боје у процесу одлучивања људи при опредељивању за одређени производ из свакодневног живота.

Занимљива испитивања на ову тему урађена су са детерцентима. Тако је исти производ упакован у три паковања различита по боји, али исти по облику. Једна је кутија дата у жутој боји, друга у плавој, а трећа у комбинацији плаве и жуте боје. На питање потрошачима који им се детерцент чини најбољим и зашто, највећи део потрошача реаговао је следећим одговорима: да је детерцент у жутој кутији слаб, детерцент у плавој кутији је прејак, а онај у плаво – жутој кутији је најбољи.

Наколност људи према бојама у многоне зависи и од географског подручја. Медитернаци на пример уважавају интензивне боје, а северњаци пастелне. На одређене предиспозиције у примању боја утичу и навике и традиције.

Установљено је да је највидљивија боја по дану жута или наранџаста, а у мраку зелена или плава. Све боје на светлости делују жуће него што јесу, а у тами љубичастије. Боје изазивају и међусобни утицај једна на другу.

Истраживања су такође показала да постоје боје које више изазивају пажњу посматрача. Помоћу специјалних апарата за мерење дужине трајања погледа и пажње обављена су тестирања и показало се да следеће боје изазивају следећу пажњу:

1. наранџаста 21,4%,
2. црвена 17%,
3. плава 13,4%,
4. црна 13%,
5. зелена 12,6%,
6. жута 12%,
7. сива 7%,
8. љубичаста 5,5%.

6.4.1. Психолошко дејство боја

Боје имају специфично психо социјално значење. Оно што је занимљиво је да једна боја може да има потпуно супротна тумачења у зависности од употребе исте и са којим циљем. Тако рецимо црвена може да значи упозорење ако се налази на саобраћајном знаку, док рецимо уколико се ради о црвеном срцу долазимо до симболике страсти и љубави.

Научници су истраживали како боје утичу на наша расположења и добили резултате да црвене боје узбуђују, жуте и жуто – зелене делимично узбуђују и умирују, а плаве и љубичасте углавном изазивају нерасположење, мада нека нијансе умирују.

- **Црвена** – снага, живост, динамика, мушкост. Може да оставља и утисак грубости и оштрине, као и шарма и добротинства. То је увек топла боја. Црвена боја дражи

зенице и поглед, ми у њу гледамо и када то не желимо. Уобичајено је да црвена боја означава активност, снагу, тренутак неке страсне жеље. Црвена боја нас често и збуњује, али и забавља. То је боја која је и симбол опасности и упозорења, храбрости, гнева, узбуђења, борбе и зато је политички симбол револуције.

- **Наранџаста** – више него црвена изражава зрачење и комуникацију. Топла боја која је поред жуте највидљивија – запажа се на највећој удаљености. То је боја акције. Има пријемчив, топао и интиман карактер. Она је симбол пажње и акције.
- **Жута** – најсветлија, највидљивија и најгласнија боја. То је боја младости, прија човеку, ствара радост и задовољство, зато је и боја оптимизма. Златно – жута је активна боја, али ако се дода зелена подсећа на болест. Ако се дода мало црвене више прија човеку, загрева срце и ствара задовољство.
- **Зелена** – сматра се да ништа не изазива јер има неодређен и миран карактер. Када природа почиње да зелени то је нада за нови живот, тако да је то боја наде. Ако доминира хладна плава боја, зелена постаје озбиљна и мисаона. Додавање жуте боје даје јој снагу и сунчани утисак. Изражава незрелост, младост, природу и симбол је слободе.
- **Плава** – хладна и женствена боја која оставља умирујући утисак. Изражава извесну зрелост, везана је за духовни, унутрашњи живот. На изванредан начин оставља утисак бесконачности. Што је светлија, то више подсећа на сањарење и подстиче га. Утисак који имамо о плавој боји изазива у човеку свежину и хигијенску чистоту, нарочито ако је у комбинацији са белом бојом. Изражава оданост, истину, верност, наивност, част, али и мистику, меланхолију и депресију.
- **Љубичаста** – наводи на размишљање и мистичност, љубомору и тајне. То је често тужна боја, меланхолична а може и да оставља утисак свечаног. Изражава достојанство и богатство, снагу лојалност, хуманост.
- **Ружичаста** – сладуњава и стидљива, са романтичним и нежним садржајем. Она је израз женствености и љубави. Оставља утисак и сугерише нежност и интимност.
- **Браон** – даје утисак компактности и велике корисности. Асоцира на земљу. Изражава здрав дух, живот и свакодневни рад.
- **Бела** – сугерише чистоћу. Како не садржи посебан карактер, ствара утисак празнине и бескрајности. Бело има ефекат потпуног мира у души. Изазива утисак свежине, антисептичности и по томе је блиска плавој боји.
- **Црна** – израз суморности, као тешка боја је симбол безнадежности. Али изражава и отменост и елеганцију, нарочито ако има сјајан рефлекс. Због непробојног карактера изазива осећање изгубљености – вечни мир без перспективе.
- **Сива/ Сребрна** – има аутономан карактер. Често је слична белој по асоцијацијама. Није пасивна као црна боја, али не одређује ништа прецизно. Она је израз стања и расположења које је неутрално и сумњичаво, симбол је недостатка енергије. Бледило сиве изазива страх, асоцира на старост. Изражава монотонију и депресију нарочито ако је тамнија.

7. Експериментални део

7.1. Увод

Електродермална активност (ЕДА) је заменила галвански одговор коже као термин који се користи за опис промена способности коже за провођење електрицитета. Преферирана мера ЕДА је кондуктивност односно инверзна отпорност која се изражава μS . Кондуктивност се чешће користи него отпор зато што се кожа не понаша као један отпорник већ као више отпорника повезаних паралелно. Распон ЕДА код човека је између 1 и 20 μS .

Физиолошка основа ЕДА – представља промену у аутономном нервном систему, углавном у разумевању промена, које се јављају на кожи и на поткожном ткиву као одговор на промене афективног стања субјекта. Промене у аутономном нервном систему изазивају знојење и појачану проквљеност коже, што мења ЕДА.

На пример: Ако се болан стимуланс као што је убод игле примени на кожу на подручју који је далеко од електроде, стимуланс ће рефлексно изазвати генерално фазно симпатетичко пражњење до знојних жлезда, појачавајући лучење. Појачање у знојењу, иако генерално мало смањује електричну отпорност коже, повећава електричну проводност коже зато што зној садржи воду и електролите који обоје повећавају електричну проводност коже.

Као што је случај са симулацијом соматичких сензора (бол, притисак, додир) промене у емоцијама изазивају промене у периферном аутоном систему, према томе и промене у ЕДА. Чест пример је црвенило (на лицу) и појачано знојење које се често јавља у емотивном стању срама.

Посебни сензорни стимулуси (вид, слух, укус, мирис) такође утичу на емотивно стање особе. Интересантно, иако јако субјективно, одређене боје могу изазивати промене у аутономном нервном систему који опет изазива промене у расположењу и понашању субјекта. Топле боје као што су црвена, наранџаста и жута у неким особама изазивају осећање топлоте, док код других изазивају бес. Хладне боје као што су зелена, љубичаста и плава изазивају осећања у распону од зависти до смирености и туге или чак и индиферентности.

Утицај боја на афективно стање је било познато старим Египћанима, Кинезима и другим културама које су користиле боје као помоћ у лечењу. Ова терапија звана хромо терапија се још користи у холистичкој медицини. Битно је напоменути да је већина клиничара скептична по питању терапије бојама. Ефекти терапије бојом варирају од особе до особе и углавном имају краткорочни ефекат. У овом раду ћемо истраживати

краткорочни утицај боја на афективно стање субјеката које се манифестује променама у ЕДА.

Детектовање и снимање ЕДА је често комбиновано са детектовањем и снимањем других аутономно – зависних психофизиолошких варијабли као што су откуцаји срца, брзина дисања и крвни притисак. Уређај који детектује и снима ове варијабле се зове полиграф, иако многи људи мисле да је полиграф синоним за детектор лажи његов буквалан превод је „много записа“ (поли – пуно, граф – писати).

Један од главних принципа при коришћењу полиграфа као детектора лажи јесте да се аутономни нервни систем који контролише откуцаје срца, брзину дисања и знојење не може свесно контролисати. Други принцип се заснива на томе да се промене у емоцијама које су повезане са намерним лагањем одговора на пажљиво изабрана и изговорена питања несвесно мењају одговор аутономног нервног система и то на такав начин да изазивају препознатљиве промене у измереним физиолошким варијаблама. У експериментима који следе прати се дисање (број удисаја у минути), ЕДА и откуцаји срца у различитим експерименталним процедурама, и то све у сврху добијања бољег разумевања полиграфије, као и њене примене и ограничења.

БИОРАС ЕДА трансдјусер ради тако што се поставља једна електрода на земљу (0 V), а друга на константних 0,5 V једносмерне струје. Унутрашње коло мери количину струје која је потребна да би се одржала волтажа од 0,5 V између те две електроде. Ове две електроде су повезане са два различита прста, и то тако да се добија ефективна отпорност R између те две електроде. Измерена струја ($I=E/R$) је пропорционална проводљивости ($1/R$) зато што је напон константан. Нормална људска ЕДА је у распону између 1 и 20 μS тако да ће максимални проток струје бити око 10 μA . Овде ћемо бити заинтересовани само за промене ЕДА током кратког временског периода. Да би помогао у интерпретацији података софтвер примењује “High pass” филтер од 0,5 Hz. Због овог разлога јединице за ЕДА су “делта микросименси” да би се указало да се ово мерење односи на промену ЕДА.

Битно је имати на уму да иако су процедуре и мерења које се користе сличне онима које се могу користити у стварном снимању полиграфа ово није прави детектор лажи. Све што ће овде бити рађено је да се бележе физиолошке промене субјекта на одређена питања. Неки типови физиолошких промена се типично повезују са лагањем иако и под најгорим условима око 1/3 невиних људи падне на детектору лажи. Циљ овог мерења је да схватимо како ове процедуре функционишу помоћу мерења које ћемо извршити.

7.2. ЕДА и полиграф на ВІОРАС систему

7.2.1. Експериментални циљеви

1. Упознавање са процедурама за снимање електродермалне активности
2. Посматрање и снимање промена код дисања, код откуцаја срца и код отпора коже које су повезане са соматским и специјалним сензорним надражајима
3. Посматрање и снимање промена код дисања, код откуцаја срца и код отпора коже које су повезане са когнитивним понашањем и емоцијама
4. Анализа 3 – каналног полиграма снимљеног под различитим експерименталним условима ради стицања знања за боље разумевање полиграфа

7.2.2. Екперимент

Распоред електрода



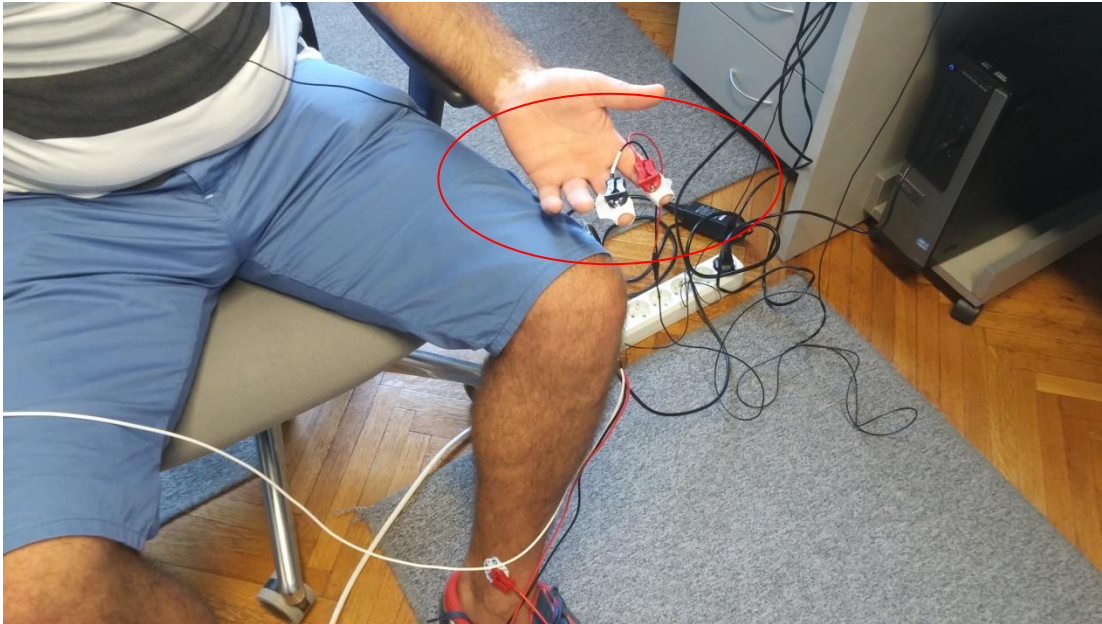
Слика 7.1. MP3X хардвер

1. Електроду SS5L (трансдјусер) треба поставити испод пазуха, а изнад брадавице.



Слика 7.2. SS5L постављање

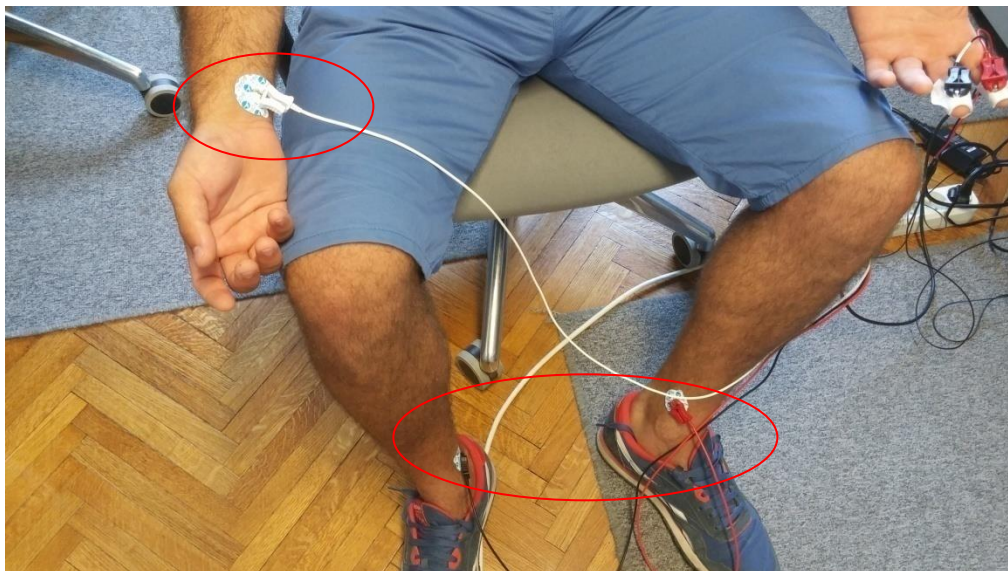
2. Прикључити две електроде на прсте субјекта и спојити са одводом SS57L као што је приказано на слици 7.3.



Слика 7.3. Поставка SS57

3. По једна електрода се поставља на медијалну површину изнад чланка код обе ноге. Трећа електрода се поставља на зглоб десне подлактице са предње стране (са исте стране на којој се налази и длан).

За оптимални контакт електроде, електроде на кожу морају да се поставе најмање пет минута пре калибрације.



Слика 7.4. Постављање електрода и одвода SS2L

Калибрација

Процедура калибрације успоставља хардверске унутрашње параметре (као што су појачање, нагиб и скалирање) и критична је за оптимална подешавања. Посебна пажња се мора обратити на калибрацију. Субјекат би требало да седи са рукама опуштеним и то тако да су дланови окренути ка телу и наслоњени на крило, са ногама савијеним у коленима и подупрптим стопалима. Програм треба да види промену код ЕДА током калибрације. Субјекат треба максимално да смањи покрете у грудима, јер то може узроковати ЕМГ артефакте. Сама калибрација траје десет секунди.

Дисајни канал треба да покаже варијације, посебно током дубоког удисаја/издисаја. Основна линија ЕКГ таласа треба да буде у близини 0 mV, без претераних ЕМГ артефаката и без претераног основног дрифта приликом дубоког удисаја/издисаја. ЕДА подаци би требало да се повећавају након неколико тренутака после дубоког удисаја/издисаја, а затим се полако враћа на основну линију.



Слика 7.5. Пример калибрације

7.2.3. Резултати

Профил субјекта

Име: **Владимир**

Висина: **189 m**

Старост: **32 године**

Тежина: **113 kg**

Доминантна рука: Д **Л**

После баждарења пре сваког мерења добијени су снимци на студентском **БИОРАС** програму на основу којих смо читавали вредности са графика за срчану фреквенцију, респираторну фреквенцију и за ЕДА (електродермалну активност). Мерења се врше у току следећих радњи:

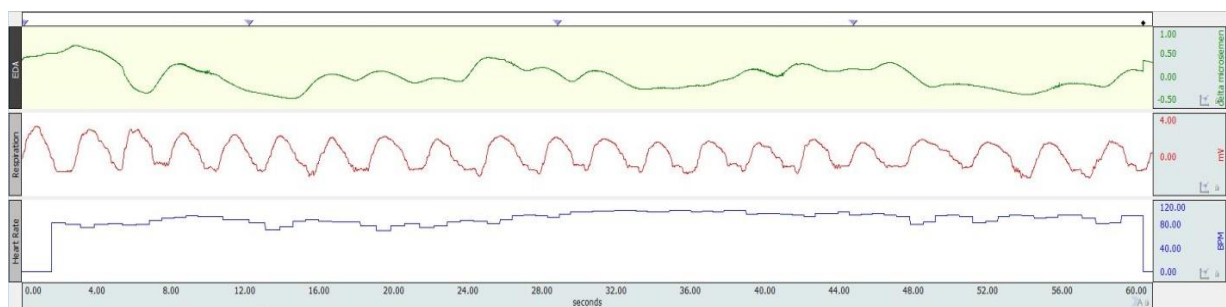
1. док субјекат решава математички проблем у глави (броји до 10 и броји од 30 и то тако да прво одузме 1, затим од 29 да одузме 3, онда од 26 да одузме 5 и тако све док траје мерење) и на крају следи додир лица од стране особе која испитује
2. док гледа у обојене папире и
3. док одговара на листу “ДА” и “НЕ” питања.

Оно што је веома важно јесте то да:

- субјекат мора бити опуштен и окренут од стране монитора;
- субјекат пре снимања не би требало да је вршио било какав физички или ментални напор;
- окружење мора да буде мирно;
- субјекат на питања мора да одговара тихо, са минималним померањем уста.

Бројање и додир

Испитаник првих 10 секунди мирује и тако се одреди основна линија. Затим тихо изговори своје име што се забележи као нови догађај. Следећи корак је да испитаник у себи броји до 10. После тога испитаник броји од 30 тако што сваки наредни број смањује за следећи непарни 30,29,26,... На крају следи додир лица испитаника.



Слика 7.6. Запис са електрода док испитаник мирује, изговара своје име и броји у себи.

Табела 7.1. Подаци, бројање и додир

Процедура	Срчана фреквенција 41 Value		Респираторна фреквенција 40 BPM		ЕДА 3 Value	
	Ознака	Мерење (у минути)	Ознака	Мерење (у минути)	Ознака	Мерење [ΔμS]
Мировање (основна линија)	NC ¹	82	NC	22	NC	-0,0352
Тихи изговор имена	D ²	80	NC	22	I	0,6421
Бројање од 10	I ³	84	D	20	I	0,0439
Бројање од 30	I	101	D	19	I	0,1190
Додир лица	I	95	D	14	I	0,2997

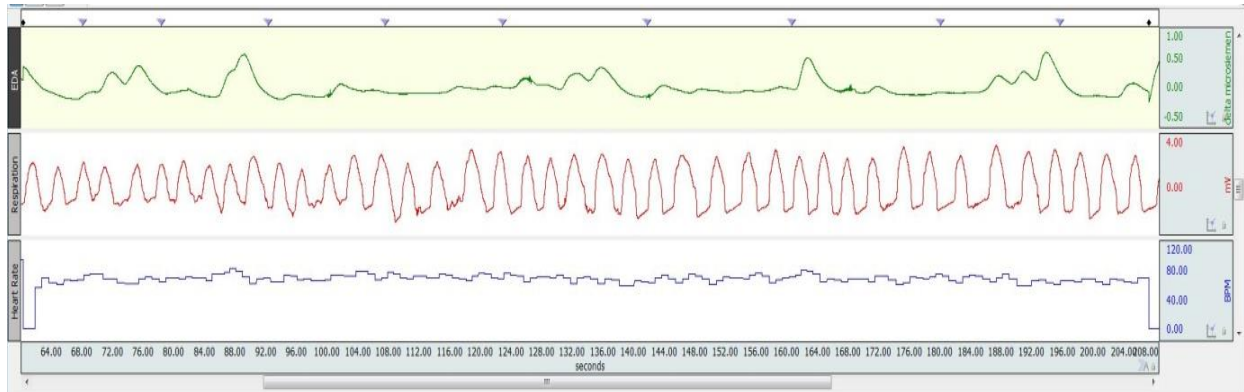
¹NC – нема промене вредности

²D – смањење вредности

³I – повећање вредности

Папир у боји

Распоред боја у овом низу су: **бела, црна, црвена, плава, зелена, жута, наранџаста, браон, розе**. Папир у боји се показује испитанику и треба да се држи довољно близу субјекта да би покрио значајан део видног поља. Временски интервал од 5 секундни између презентације следећег папира су важни због поновног успостављања основне линије. Сва три канала треба да показују варијације података и свих девет догађаја (девет боја) треба да буду присутни.



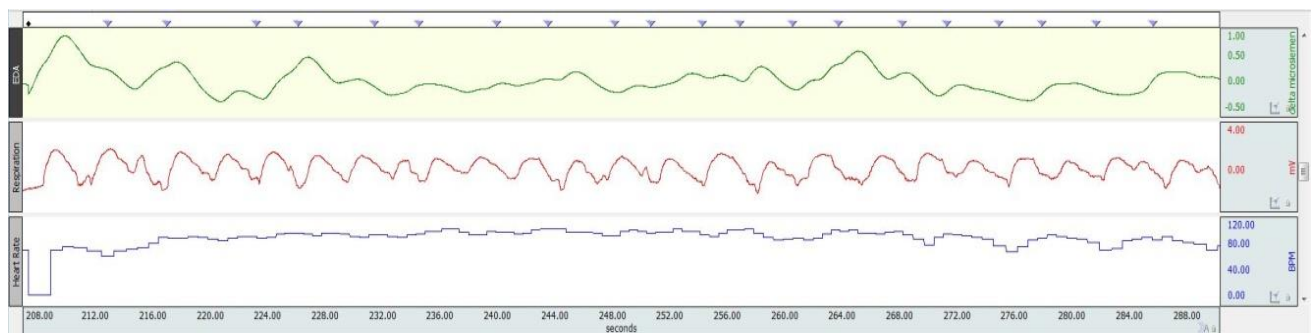
Слика 7.7. Запис са електрода док испитаник гледа у обојене папире

Табела 7.2. Подаци папир у боји

Боја	Срчана фреквенција		Респираторна фреквенција		ЕДА	
	Ознака	Мерење (у минути)	Ознака	Мерење (у минути)	Ознака	Мерење [$\Delta\mu S$]
Бела	D	67	D	13	I	0,2521
Црна	D	70	D	19	I	0,5621
Црвена	D	73	D	18	I	0,0415
Плава	D	69	D	14	D	– 0,0055
Зелена	D	64	D	20	I	0,1373
Жута	D	69	D	18	I	0,0177
Наранџаста	D	80	D	19	I	0,4956
Браон	D	69	D	13	I	0,1862
Роза	D	64	D	16	I	0,0281

ДА – НЕ одговори

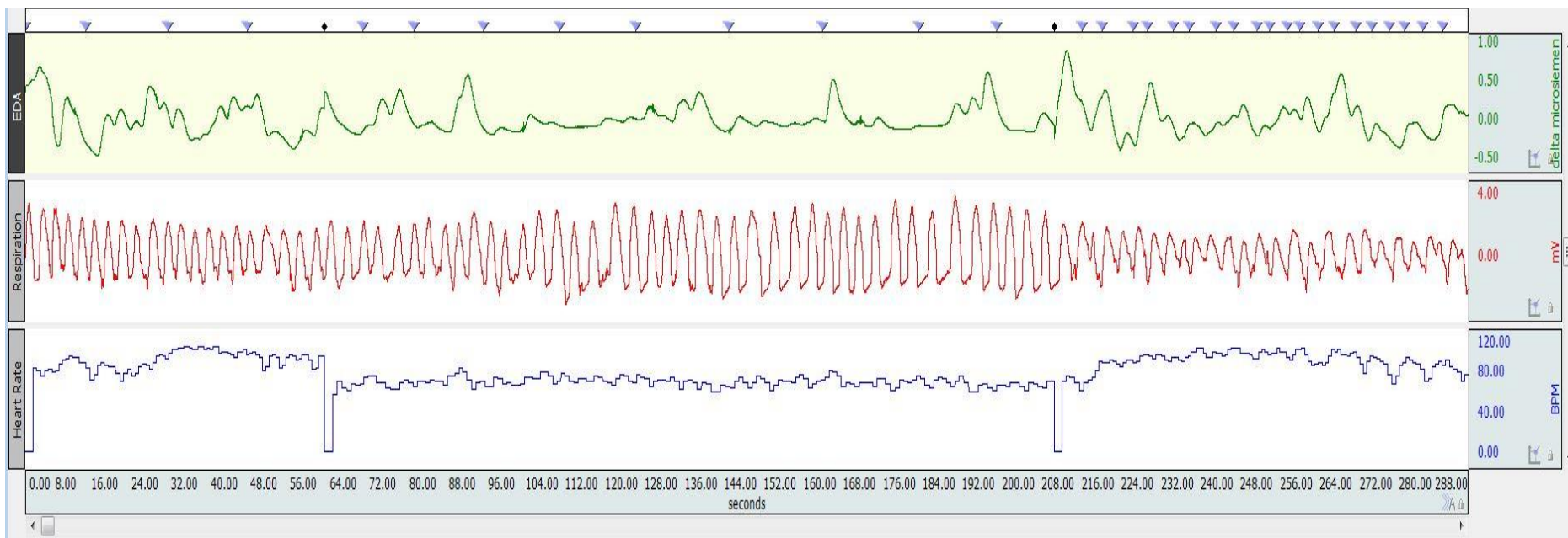
- Свако питање – одговор треба да траје око 10 секунди.
 - Субјекат може дати одговор који ће бити тачан или лажан.
 - Временски интервал од 5 s између одговарања субјекта на питања и поновног постављања питања је битно због успостављања базне линије.
 - Питања:
1. Да ли сте тренутно студент?
 2. Да ли је боја ваших очију плава?
 3. Да ли имате браћу?
 4. Да ли сте добили десетку на последњем испиту?
 5. Да ли возите мотоцикл?
 6. Да ли сте млађи од 25 година?
 7. Да ли сте икада путовали на другу планету?
 8. Да ли су вас икада посетили ванземаљци?
 9. Да ли гледате Игру престола?
 10. Да ли сте искрено одговорили на претходна питања?



Слика 7.8. Приказ података са ДА – НЕ одговорима

Табела 7.3. Подаци, ДА – НЕ одговори

Питање	Одговор	Истина или лаж	Срчана фреквенција		Респираторна фреквенција		ЕДА	
			41 Ознака	Value Мерење	40 Ознака	BPM Мерење	3 Ознака	Value Мерење [$\Delta\mu S$]
Да ли сте студент?	Да	Истина	I	87	D	18	I	0,3668
Да ли имате плаве очи?	Да	Истина	I	94	D	18	I	0,4590
Да ли имате браће?	Да	Лаж	I	94	D	20	D	– 0,0689
Да ли сте добили десетку на последњем испиту?	Не	Истина	I	97	D	18	I	0,1739
Да ли возите мотоцикл?	Да	Лаж	I	98	D	18	D	– 0,0946
Да ли сте млађи од 25?	Не	Истина	I	95	D	17	I	0,2769
Да ли сте икада путовали на другу планету?	Да	Лаж	I	95	D	14	I	0,5749
Да ли су вас икада посетили ванземаљци?	Не	Истина	I	92	D	16	D	– 0,0739
Да ли гледате „Игру престола“?	Не	Лаж	I	92	D	17	D	– 0,0739
Да ли сте искрено одговорили на претходна питања?	Не	Истина	I	84	D	15	I	0,1147



Слика 7.9. Запис са електрода током свих фаза експеримента

7.2.4. Дискусија

Пре него што смо приступили мерењу субјекат на ком је мерење извршено би требало да буде опуштен. На основу калибрације које смо урадили примећује се да је субјекат био узбуђен и то се види на основу срчане фреквенције и респирације. И срчана фреквенција и респирација су биле веома високе, и тек су се током мерења свеле на вредности које су уобичајене за субјекат.

Код теста са бојама вредност ЕДА је пала само приликом преласка са црвене на плаву боју и тада је регистрована ЕДА од $-0,055$ [$\Delta\mu S$]. То се може објаснити чињеницом да црвена боја спада у топле боје, а плава у хладне што значи да долази до смирења испитаника после преласка са јарке црвене на умирујућу плаву што показује и срчана фреквенција (са 73 вредност се смањила на 69) и фреквенција респирације (смањење са 18 на 14).

На питање да ли имате браће испитаник је одговорио ДА што је лаж, али је експериментална ЕДА показала да је ово истина. Када ово може бити истина? Испитаник има брата, али не рођеног и вероватно је због лоше конципираног питања ЕДА пала и показала негативну вредност. Испитаник је искрено одговорио на ово питање, није слагао. На питање „Да ли сте икад путовали на другу планету“ испитаник је одговорио ДА што је била лаж. ЕДА ту има највећу вредност што може бити потврда лажи. На питање „Да ли возите мотоцикл“ испитаник је слагао, али се вредност ЕДА смањила што не бисмо регистровали као лаж. Такође код питања „Да ли гледате Игру престола?“ испитаник је одговорио НЕ, а то је лаж, јер гледа тај серијал. И ту имамо пад вредности за ЕДА што опет не указује на лаж.

8. Закључак

На основу мерења електродермалне активности, срчане и фреквенције дисања која су урађена на ВІОРАС систему можемо да закључимо да полиграф није исто што и детектор лажи. Резултати мерења које смо добили показали су да је ВІОРАС систем непоуздан као уређај за одређивање истине. С друге стране може се закључити да су и методе испитивања неадекватне за коначан закључак о томе да ли испитаник говори истину или не.

Литература:

1. Шантић, Анте, Биомедицинска електродника, Школска књига, Загреб 1995
2. Поповић Мирјана, Јанковић Милица и Поповић Дејан: Биомедицинска мерења и инструментација, Академска мисао, Београд 2009.
3. Biopac Student Lab Laboratory Manual by Inc. Biopac System, 2015.
4. Ристић, Драгана, Бојене реакције као мотивациони фактор за учење хемије, мастер рад, Библиотека природно – математичког факултета, Нови Сад, 2014.
5. <http://www.scribd.com/doc/15722803/biopotencijal#scribd>
6. <https://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCQQFjABahUKEwjtkfOPs57HAhVJmnIKHRxnCdA&url=http%3A%2F%2Fsupa.pharmacy.bg.ac.rs%2Fassets%2F22170&ei=XInIVe3zMsm0ygOczqWADQ&usg=AFQjCNE8hYRFaXEpd1luo9P4qEdPUHZLCg&bvm=bv.99804247,d.bGQ&cad=rja>
7. https://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=11&ved=0CBsQFjAAOApqFQoTCCPP0zO6FoccCFehrcgod5TYOng&url=http%3A%2F%2Fneuron.mefst.hr%2Fdocs%2Fkatedre%2Ffizika_biofizika%2FIzborni_kolegiji%2FBiofizikaSTIM%2FBiofizikaSTIM_4dio_Rogic.pdf&ei=juzJVfP1JeyXyQPl7bjwCQ&usg=AFQjCNHI38_yUHduPqsNmWig0v1Egc4m-A&bvm=bv.99804247,d.bGQ&cad=rja
8. https://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAAahUKEwi5-MKl0qHHAhVDGCwKHQKzBag&url=http%3A%2F%2Fwww.biofidbek.com%2Fliteratura%2Fclanci%2Fmodaliteti_biofidbeka_i_oblasti_primene.pdf&ei=sjzKVbnXNsOwsAGC5pbACg&usg=AFQjCNGRa2EKsShlDDIUDhNEFen7QCF1Sg&bvm=bv.99804247,d.bGQ&cad=rja
9. <https://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=12&ved=0CCQQFjABOApqFQoTCJXgl4TgsscCFcaOLAodosMCJw&url=http%3A%2F%2Fbmi.mas.bg.ac.rs%2Ffajlovi%2Fosnovne%2FOBI5.pdf&ei=zjTTVZXBJsadsgGih4u4Ag&usg=AFQjCNGBlqFAYPz5p-KqikwaB7iOqLWvZA&bvm=bv.99804247,d.bGg&cad=rja>
10. <https://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CCoQFjACahUKEwjzrbDy37LHAhXliSwKHfyLCSs&url=http%3A%2F%2Fwww.bosnalijek-rf.ru%2Fudoc%2Felektrokardiografija.pdf&ei=qTTTVbO1EciTsgH8l6bYAg&usg=AFQjCNGNzjeG-j5E61B1osbkOvDKbzCo1Q&bvm=bv.99804247,d.bGg&cad=rja>
11. <http://www.znanje.org/i/i2012/12iv04/12iv0409/galerija/gradja%20pluca.jpg>
12. <http://www.slideshare.net/nasaskolatakmicenja1/sistem-organa-za-disanjeisidora-milenkovijasmina-miljkovi?related=1>
13. <https://www.google.rs/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCMQFjABahUKEwiLwrK-yIPIAhXIDiwKHVCuCtw&url=http%3A%2F%2Fwww.viser.edu.rs%2Fdownload.php%3Fid%3D9147&usg=AFQjCNFd9x74khDJUP6QAPnYSOIWXOK79g&bvm=bv.103073922,d.bGg&cad=rja>

14. http://www.google.rs/imgres?imgurl=http://cache.wists.com/thumbnails/2/94/294c9bf6a1533ad313f21ef1c5cf8181-orig&imgrefurl=http://www.oobject.com/category/vintage-analog-lie-detectors/&h=480&w=600&tbnid=_DDpu2bxOl1IJM:&docid=zLONMvdNp2MQrM&ei=FOsIVqmGNoOka7DRuIAP&tbnid=isch&ved=0CCYQMygMMAxqFQoTCKngvaiZmcgCFQPSGgodsCgO8A
15. http://www.google.rs/imgres?imgurl=http://newsimg.bbc.co.uk/media/images/40208000/gif/_40208949_lie_detector2_inf416.gif&imgrefurl=http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/3756015.stm&h=200&w=416&tbnid=3RsY03z7AMi4-M:&docid=lcg-7JsWxGj1WM&ei=FOsIVqmGNoOka7DRuIAP&tbnid=isch&ved=0CBoQMygAMABqFQoTCKngvaiZmcgCFQPSGgodsCgO8A
16. https://b6b1a576-a-62cb3a1a-s-sites.googlegroups.com/site/wwwdobrivojecom/Home/poligraf-detektorlazi/mikro_poligraf.jpg?attachauth=ANoY7cpKaxLfu24_A3su-j2MvEMXTra5KwbtGAyH2I0DP8kUvezbc8VG_nXvBunN18M-KPRfD1-DbZJWws8ENgXz_p6AMd9kiBnv950vC4IqmGBJMocaeHKOcPfV-fBbtEMLkcRFUff2EJKluXR2SMS5k66SvWw7GB--oXbe8QS6a5Ck3khbE0q-HKFNNc0Dzn9S1dHyx2e3e20xZJHYOHDtBELc3SJ0C-rT06r4thwa135zHOv0H83E5H9CyPEtGTr62Fj3oOYY&attredirects=0

Биографија



Рођена сам у Сомбору 15. јула 1984. Основну школу „Соња Маринковић“ сам завршила у Новом Саду. Гимназију „Вељко Петровић“, природни смер сам завршила у Сомбору. Основно музичко образовање, одсек клавир сам завршила у Сомбору у школи „Петар Коњовић“. Школске 2003/2004 уписујем Природно – математички факултет, смер медицинска физика на департману за физику. Школске 2014/2015 сам уписала мастер студије, смер мастер професор физике и мастер медицинске физике на Природно – математичком факултету у Новом Саду, где сам претходно завршила и основне студије. Током средње школе сам заједно са братом изумела „Магнетни омекшивач воде“, за који имам и признат патент. Са магнетним омекшивачем воде смо брат и ја освојили многобројна признања и награде. Мени најдраже две награде су: награда млади проналазач „Младен Селак“ и треће место на такмичењу за „Најбољу технолошку иновацију“, 2008. године.

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Tip zapisa:

TZ

Vrsta rada:

VR

Autor:

AU

Mentor:

MN

Naslov rada:

NR

Jezik publikacije:

JP

Jezik izvoda:

JI

Zemlja publikovanja:

ZP

Uže geografsko područje:

UGP

Godina:

GO

Izdavač:

IZ

Mesto i adresa:

MA

Fizički opis rada:

FO

Naučna oblast:

NO

Naučna disciplina:

ND

Predmetna odrednica/ ključne reči:

PO

UDK

Čuva se:

ČU

Važna napomena:

VN

Izvod:

IZ

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

član:

član:

Монографска документација

Текстуални штампани материјал

Мастер рад

Смиљка Тодоров

Оливера Клисурић

Електродермална активност и полиграф на ВІОРАС ситему

Српски (ћирилица)

српски/енглески/руски

Србија

Војводина

2015

Ауторски репринт

Природно-математички факултет, Трг Доситеја Обрадовића 4, Нови Сад

Број поглавља/број страна/број табела/ број слика/број референци/:
8/87/7/92/12

Физика

Мастер медицинске физике

Медицинска физика, Електродермална активност и полиграф на ВІОРАС ситему

Библиотека департмана за физику, ПМФ-а у Новом Саду

нема

У овом раду су представљене методе које се користе при полиграфском испитивању: мерење и анализа електродермалне активности, електрокардиографија (праћење и анализа срчане фреквенције) и анализа респираторне фреквенције на ВІОРАС ситему. Екпериментални део је проширен са идејом да се полиграфска испитивања искористе као детектор лажи што екпериментом није потврђено.

23.09.2015.

30.09.2015.

Др Маја Стојановић

Др Оливера Клисурић

Др Соња Скубан

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS
KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

Monograph publication

DT

Type of record:

Textual printed material

TR

Content code:

Final paper

CC

Author:

Smiljka Todorov

AU

Mentor/comentor:

Olivera Klisurić

MN

Title:

Electrodermal activity an polygraph on BIOPAC system

TI

Language of text:

Serbian (cyrlics)

LT

Language of abstract:

English

LA

Country of publication:

Serbia

CP

Locality of publication:

Vojvodina

LP

Publication year:

2005

PY

Publisher:

Author's reprint

PU

Publication place:

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

PP

Physical description:

8/87/7/97/12

PD

Scientific field:

physics

SF

Scientific discipline:

Master academic studies in physics – Medical Physics

SD

Subject/ Key words:

Physics, EDA, Lie detector – poligraph, respiratory system, BIOPAC student lab, EKG

SKW

UC

Holding data:

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note:

none

N

Abstract:

This paper describes functionality of student BIOPAC system and it's application as polygraph - for lie detection, effect of colors based on changes of EDA as well as changes in EKG, respiratory cyclus and EDA during certain mental activities.

AB

Accepted by the Scientific Board:

23.09.2015.

ASB

Defended on:

30.09.2015.

DE

Thesis defend board:

DB

President:

PhD Maja Stojanović

Member:

PhD Olivera Klisurić

Member:

PhD Sonja Skuban