МЕЃУНАРОДЕН СЛАВЈАНСКИ УНИВЕРЗИТЕТ
СВЕТИ НИКОЛЕ
РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА



ФАКУЛТЕТ ЗА ИНФОРМАТИКА
СТУДИСКА ПРОГРАМА:
КОМПЈУТЕРСКИ СИСТЕМИ И МРЕЖИ

МАГИСТЕРСКА РАБОТА

ПРИМЕНА НА БИОСЕНЗОРСКА ТЕХНОЛОГИЈА ВО ИСТРАЖУВАЊЕ НА ЧОВЕКОВОТО ОДНЕСУВАЊЕ – ПОТСВЕСНО МЕНТАЛНО ПРОЦЕСИРАЊЕ

СТУДЕНТ: **БИЉАНА ЛАЗАРОВА**
БРОЈ НА ИНДЕКС: **M228002**
МЕНТОР: **ПРОФ. Д-Р САШО МАНАСОВ**

Свети Николе, 2024

АПСТРАКТ

Биосензорите се аналитички уреди кои го претвораат биолошкиот одговор во електричен сигнал. Суштински биосензорите мора да бидат многу специфични, независни од физичките параметри како PH и температурата и треба да бидат повторно употребливи.

Кои се новите технологии за биосензори?

Неодамнешниот напредок во биолошките техники и инструменти кои вклучуваат флуоресцентни ознаки за наноматеријали ја зголемија чувствителната граница на биосензорите. Употребата на аптамери или нуклеотиди, афитела, пептидни низи и полимери втиснати со молекули обезбедуваат алатки за развој на иновативни биосензори над класичните методи.

Кои се петте главни типови на биосензори?

Биосензорите може да се класифицираат со различна основа врз основа на видот на материјалот што се анализира или трансдукцискиот механизам што го користи сензорот. Врз основа на употребениот механизам за трансдукција, биосензорите можат да да се класифицираат како :електрохемиски,електрични,оптички, пиезоелектрични, гравиметриски, пироелектрични.

Клучни зборови:

Изрази на лицето, емоција, вербална, електрокардиограм (ЕКГ), класификатор на емоции, систем за препознавање емоции, интеракција човек-машина (HMI), CBM, RF, варијабилност на срцевиот ритам, препознавање на емоции, BCI, анкета, емоција, препознавање, преработка, карактеристика, екстракција; селекција, класификација, трендови, аудио-визуелен говор, препознавање на емоции, уреди за носење, биосензор, сензор за електроокулографија (ЕОГ), сензор за електроенцефалографија (ЕЕГ), сензор за пот, евалуација на емоции, сензор за стрес, биосензори, имуносензори базирани на ткиво, имуносензори базирани на ензими.

СОДРЖИНА

АПСТРАКТ **2**

Клучни зборови: **2**

ВОВЕД **5**

I. ТЕОРЕТСКИ ДЕЛ 7

1 НОВИТЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗА НОСЕЊЕ БИОСЕНЗОРИ ЗА СЛЕДЕЊЕ НА СТРЕСОТ И НИВНИТЕ АПЛИКАЦИИ ВО РЕАЛНИОТ СВЕТ 7

1.1 Историјата на биосензорите што се носат 8

1.2 Развојниот потенцијал на уредите што се носат 11

1.3 Откривање на физички и психолошки стрес со уреди што се носат 12

2 Електроенцефалограм 14

2.1 Што е ЕЕГ? 14

2.2 Како се собираат податоците за ЕЕГ? 16

2.3 Примената на ЕЕГ во мерење на физичките ситуации, ослободување од стрес и управување со емоции 17

2.4 Откривање на емоции со ЕЕГ 18

2.5 Ограничувања на ЕЕГ детекција 19

3 Движење на очите 20

3.1 На кои начини се движат очите? 20

3.2 Како може да се соберат податоци за движењето на очите? 20

3.2.1 Следење на очите 20

3.2.2 ЕОГ 21

3.3. Различни средства за носење од типот на очила за откривање замор и интерфејси човек-компјутер 23

3.4. Откривање на емоции со ЕЕГ 26

3.5. Ограничувања на откривање на движењето на очите 27

4. Детекција на пот 27

4.1 Компоненти за пот 27

4.2 Како може да се детектираат компонентите на потта? 28

4.3 Примена на детекција на пот за одредување на движењето и емоциите на телото 29

4.4 Ограничувања на детекција на пот 30

5. Биосензори и нивните апликации - преглед 31
5.1 Видови биосензори 31
5.2 Примени на биосензори 33
5.2.1 Во преработката на храната, мониторингот, автентичноста на храната, квалитетот и безбедноста 33
5.2.2 Во процесите на ферментација 35
5.2.3 Технологија на биосензор за одржлива безбедност на храната 36
5.2.4 Во медицинското поле 37
5.2.5 Флуоресцентни биосензори 38
5.2.6 Апликации за биосензор за биоодбрана 39
5.2.7 Во метаболичкото инженерство 40
5.2.8 Биосензори во биологијата на растенијата 41
5.3 Иден опсег 42

II. МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО 44
6. Сензори за препознавање емоции 44
6.1. Емоција 44
6.2. Модели на емоции. 45
6.3 Сензори за препознавање емоции. 47
6.3.1 Визуелен сензор 47
6.3.2 Аудио сензор 49
6.3.3. Радарски сензор 50
6.3.4 Други физиолошки сензори 51
6.3.5 Фузија со повеќе сензори 54

III. АНАЛИЗА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО **54**
7. ПРАКТИЧНО ИСТРАЖУВАЊЕ СО КОРИСТЕЊЕ НА БИОСЕНЗОРСКИ СИСТЕМ ЗА СЛЕДЕЊЕ НА ОЧИ 56
ЗАКЛУЧОК **93**
КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА **94**
ПРИЛОЗИ И ЛИНКОВИ ..... А

ЛИСТА НА СЛИКИ:

Слика 1: Еволуција на уреди за носење. 8
Слика 2: Примена на технологија за носење. 11
Слика 3: Уред и апликација за откривање EEГ што може да се носи 15
Слика 4: . Уред и апликација за откривање EOG што може да се носи. 22
Слика 5: Модел на тркало на Piutchik 46
Слика 6: 3D модел на емоции PAD 47
Слика 7: Процес на препознавање на изрази на лицето. 48
Слика 8: Шематски дијаграм на rPPG технологијата. 49
Слика 9: Процесот на SER. 50
Слика 10: Процес на препознавање емоции врз основа на радарски сензор. 51
Слика 11: Физиолошки сигнали откриени од други физиолошки сензори. 52
Слика 12: Фузија на ниво на карактеристика. 55
Слика 13: Фузија на ниво на одлука. 55

Слики од анализа на истражување:

Стимул 1 – избор на храна 58
Стимул 2 – избор на пијалоци 58
Слика 1: Топлинска мапа, стимул 1, испитаник 1 60
Слика 2: Топлинска мапа (spotlight style), стимул 1, испитаник 1 61
Слика 3: Топлинска мапа (shadow style), стимул 1, испитаник 1 61
Слика 4: Топлинска мапа, стимул 1, испитаник 4 62
Слика 5: Топлинска мапа (shadow style), стимул 1, испитаник 4 63
Слика 6: Топлинска мапа, стимул 1, испитаник 6 63
Слика 7: Топлинска мапа (shadow style), стимул 1, испитаник 64
Слика 8: Топлинска мапа (spotlight style), стимул 1, испитаник 6 64
Слика 9: Топлинска мапа, стимул 1, испитаник 8 65
Слика 10: Топлинска мапа (shadow style), стимул 1, испитаник 8 65
Слика 11: Топлинска мапа, стимул 1, испитаник 10 66
Слика 12: Топлинска мапа, стимул 2, испитаник 1 67
Слика 13: Топлинска мапа (shadow style), стимул 2, испитаник 1 67
Слика 14: Топлинска мапа (spotlight style), стимул 2, испитаник 1 68
Слика 15: Топлинска мапа, стимул 2, испитаник 4 69
Слика 16: Топлинска мапа, стимул 2, испитаник 6 69
Слика 17: Топлинска мапа (spotlight style), стимул 2, испитаник 6 70
Слика 18: Топлинска мапа, стимул 2, испитаник 8 71
Слика 19: Топлинска мапа (shadow style), стимул 2, испитаник 8 71
Слика 20: Топлинска мапа, стимул 2, испитаник 10 72
Слика 21: Топлинска мапа (shadow style), стимул 2, испитаник 10 72
Слика 22: Топлинска мапа (spotlight style), стимул 2, испитаник 10 73
Слика 23: Топлинска мапа, стимул 1, збирна анализа 74
Слика 24: Топлинска мапа (shadow style), стимул 1, збирна анализа 74
Слика 25: Топлинска мапа (spotlight style), стимул 1, збирна анализа 75
Слика 26: Топлинска мапа, стимул 2, збирна анализа 76
Слика 27: Топлинска мапа (shadow style), стимул 2, збирна анализа 76
Слика 28: Топлинска мапа (spotlight style), стимул 2, збирна анализа 77
Слика 29: Низа на фиксации на испитаник 6 на стимул 1 78
Слика 30: Низа на фиксации на испитаник 7 на стимул 1 79
Слика 31: Низа на фиксации на испитаник 8 на стимул 1 80
Слика 32: Низа на фиксации на испитаник 10 на стимул 1 81
Слика 33: Низа на фиксации на испитаник 6 на стимул 2 82
Слика 34: Низа на фиксации на испитаник 7 на стимул 2 83
Слика 35: Низа на фиксации на испитаник 8 на стимул 2 84
Слика 36: Низа на фиксации на испитаник 10, стимул 2 85
Слика 37: Област на интерес, стимул 1, испитаник 10 86
Слика 38: Област на интерес, стимул 2, испитаник 4 87
Слика 39: Област на интерес, стимул 2, испитаник 10 88
Слика 40: Област на интерес, стимул 1 89
Слика 41: Област на интерес, стимул 2 90
Тест 1 94
Тест 2 94

ЛИСТА НА ТАБЕЛИ

Табела 1: Споредување на поединечни вредност (посебно за секој стимул) за сите испитаници -Стимул 1 91
Табела 2: Стимул 2 92

ЛИСТА НА ПРИЛОЗИ

Прилог 1: Анкетен прашалник. 93

КОРИСТЕНИ КРАТЕНКИ

ЕКГ - електрокардиограм
ЕОГ-електроокулографија
ЕЕГ- сензор за електроенцефалографија
ЕМГ - електромиографија
HMI - интеракција човек-машина
HCI - интерфејси човек-компјутер
СВМ - Векторска машина за поддршка;
RF - радио фрекфенција;
BCI- Интерфејс мозок-компјутер;
НМ - наноматеријали
АСТН - адренокортикотропен хормон
АЛС - амиотрофична латерална склероза
ППГ- плетизмографија
ГСР галвански одговор на кожата
MEG- магнетоенцефалографија
ISF -интерстицијална течност
FTIR- Фуриеова трансформација на инфрацрвена спектроскопија
AFP - автофлуоресцентен протеин
ИУТ - инфекции на уринарниот тракт

ВОВЕД

Биосензорите се аналитички уреди кои го претвораат биолошкиот одговор во електричен сигнал. Суштински биосензорите мора да бидат многу специфични, независни од физичките параметри како ph и температурата и треба да бидат повторно употребливи. Терминот „биосензор“ беше измислен од Каман, и неговата дефиниција беше воведена од IUPAC.

Производството на биосензори, неговите материјали, уредите за трансдукција и методите за имобилизација бараат мултидисциплинарни истражувања во хемијата, биологијата и инженерството. Материјалите што се користат во биосензорите се категоризираат во три групи врз основа на нивните механизми: бикаталитичка група која содржи ензими, група на биоафинитет вклучувајќи антитела и нуклеински киселини и микроорганизми кои содржат микроорганизми.

Биосензорот е уред кој детектира присуство на аналити со неговиот биолошки рецепторен ентитет, кој има уникатни специфичности што одговараат на нивните аналити. Повеќето од овие аналити се обично од физичка природа, како што се ДНК, протеини, антитела и антигени, но тие исто така може да бидат едноставни соединенија, вклучувајќи гликоза, H2O2, токсини и така натаму. Значењето на биосензорите се зголемува во обезбедувањето квантитативни и квалитативни информации во реално време за составот на аналитот. Механизмот на сензори вклучува трансдукција на целните сврзувачки интеракции во оптички, електрохемиски сигнали и.т.н . кои можат да се засилат и детектираат.

Наноматеријалите (НМ) покажаа значителен потенцијал во биолошкото сензорирање. Тие овозможуваат блиски интеракции со целните биомолекули поради нивната исклучително мала големина и соодветните модификации на површината. Наноматеријалите се чини дека се потенцијални можности поради нивниот капацитет да имобилизираат поголем број биорецепторни единици во затворени уреди, па дури и да дејствуваат како трансдукциски елемент, овозможувајќи зголемена чувствителност и намалени ограничувања за откривање до специфични молекули. Наноматеријалите се широко користени за ин-витро откривање на молекуларни биомаркери поврзани со болести и сликање, што е контрастно за да се мапира дистрибуцијата на биомаркерите ин виво. Ова поглавје ги сумира

наноматеријалите како златни наночестички, квантни точки, полимерни наночестички, јаглеродни наноцевки, нанодијаманти и графен наноструктурирани материјали кои моментално се истражуваат или се користат како биосензори.

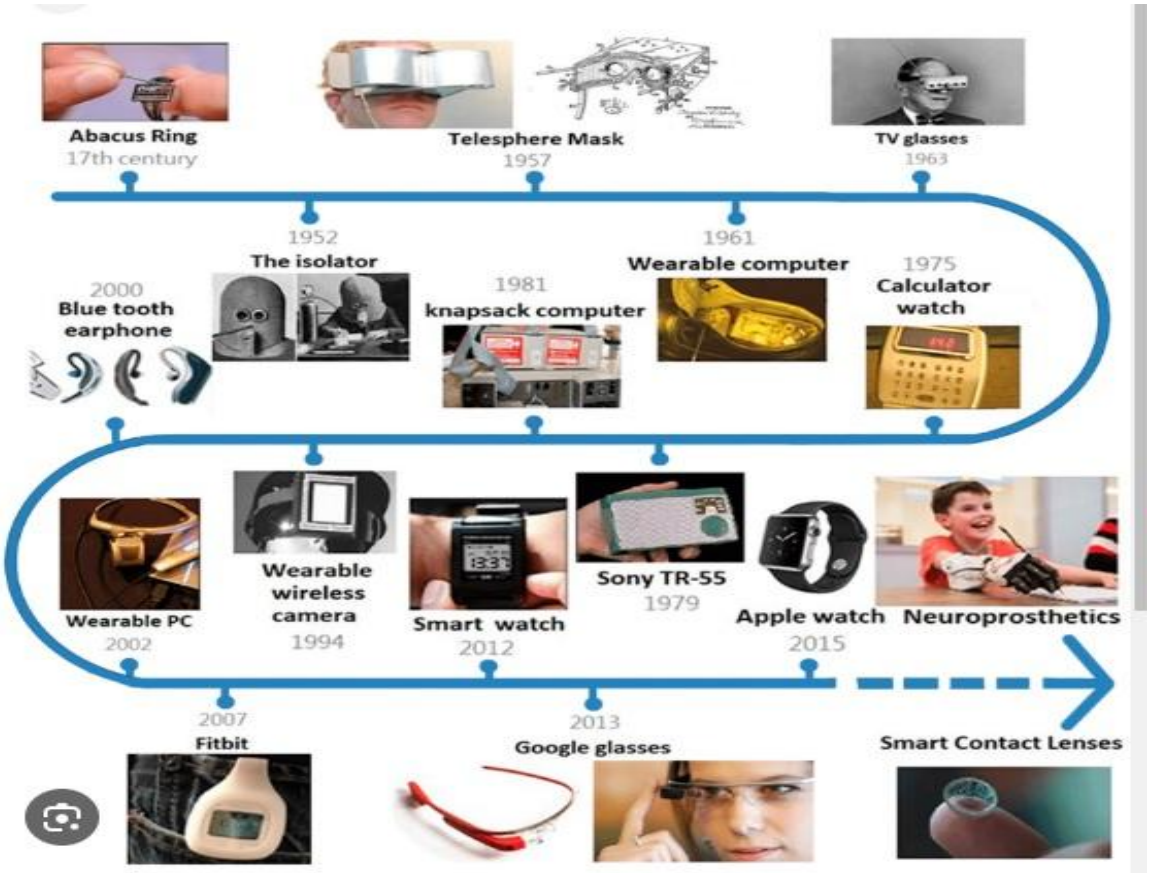
I. ТЕОРЕТСКИ ДЕЛ

1 НОВИТЕ ТЕХНОЛОГИИ ЗА НОСЕЊЕ БИОСЕНЗОРИ ЗА СЛЕДЕЊЕ НА СТРЕСОТ И НИВНИТЕ АПЛИКАЦИИ ВО РЕАЛНИОТ СВЕТ

Уредите за носење се развиваат побрзо и се применуваат пошироко. Уредите за носење се користени за следење на физиолошките индекси поврзани со движењето, вклучително отчукување на срцето, движење и други метрики за вежбање, за здравствени цели. Луѓето исто така посветуваат поголемо внимание на проблемите со менталното здравје, како што е управувањето со стресот. Уредите што се носат може да се користат за следење на емоционалниот статус и обезбедување прелиминарни дијагнози и водени функции за обука. Нервниот систем реагира на стрес, што директно влијае на движењата на очите и секрецијата на пот. Затоа, промените во потенцијалот на мозокот, потенцијалот на очите и содржината на кортизол во потта може да се користат за интерпретација на емоционалните промени, нивоата на замор и физиолошки и психолошки стрес. За подобра проценка на корисниците, уредите за чувствителност на стрес може да се интегрираат со апликации за подобрување на когнитивната функција, вниманието, спортските перформанси, способноста за учење и ослободувањето од стресот. Овие уреди за носење поврзани со примена може да се користат во медицинска дијагноза и третман, како на пример за нарушување на хиперактивноста со дефицит на внимание (АДХД), синдром на трауматски стрес и несоница, со што се олеснува прецизноста на медицината. Сепак, многу фактори придонесуваат за грешки во податоците и неточни проценки, вклучувајќи ги различните уреди за носење, типовите сензори, методите за примање податоци, точноста и алгоритмите за обработка на податоците, доверливоста и валидноста на апликацијата и вистинските дејства на корисникот. Затоа, во иднина треба да се развијат медицински платформи за уреди и апликации што се носат, а имплементацијата на производите треба да се оценат клинички за да се потврди точноста на производот и да се извршат сигурни истражувања.

1.1. Историјата на биосензорите што се носат

Уредите[1] за носење беа развиени порано отколку што вообичаено се веруваше. Временската рамка на пресвртниците во развојот на уреди за носење е дадена на слика 1. „Прстенот на мудроста“ бил измислен во Кина уште во 17 век. Овој абакус со седум реда од седум монистра е долг само 1,2 cm и широк 0,7 cm. Оваа мала големина бараше употреба на шноли, кои беа типични украси за коса за жените[2]. Во западниот свет, во јули 1925 година, Хуго Гернсбак ја измислил изолационата кацига, која ја опфаќа целата глава и целосно го изолира корисникот од надворешниот шум за да спречи одвлекување на вниманието[3].



Слика 1. Еволуција на уреди за носење. Прстенот на мудроста е развиен во 17 век. Во јули 1925 година, Хуго Гернсбак го измислил изолациониот шлем. Во 1957 година, Мортон Хелиг ја создаде маската на телесферата . Во јуни 1961 година, Едвард Торп и Клод Шенон го измислиле првиот преносliв компјутер . Во 1963 година, Хуго Гернсбак дизајнираше пар ТВ очила.. Во 1975 година беше објавен првиот компјутерски часовник. Во 1980-тите беа лансирани Walkman и ранец компјутерот . Во 1994 година, Стив Ман разви паметни очила за глава . Во 2000-тите беа претставени iPod и Bluetooth. Во 2002 и 2007 година беа пуштени во продажба компјутерите за носење и Fitbit. Од 2010 година, развиени се здравствени часовници, GoogleGlasses, Apple часовници и слушалки OculusRift. Од 2020 година се истражуваат невропротетика, паметни контактни леќи и други уреди за носење.

[1] https://www.eurekaselect.com/chapter/18999
[2] Zheng, M.; Liu, P.X.; Gravina, R.; Fortino, G. An emerging wearable world: New gadgetry produces a rising tide of changes and challenges. IEEE Syst. Man Cybern. Mag. 2018, 4, 6–14.
[3] Gernsback, H. The isolator. *Sci. Invent.* **1925**, *13*, 214–281

Во моментов, уредите за носење обично се однесуваат на електронски производи што се носат, како што се: паметни часовници, паметни нараквици, паметни контактни леќи и паметни тетоважи. Во 1955 година, Sony го претстави првото транзисторско радио, Sony TR-55, а набргу потоа беа развиени и други електронски уреди за носење. Во 1957 година, Мортон Хелиг ја создаде Telesphere Mask, дисплеј поставен на глава кој прикажува 3Д- филмови и обезбедува стерео опкружувачки звук[4]. Во јуни 1961 година, првиот преносliв компјутер бил измислен од Едвард Торп и Клод Шенон, кои биле професори по математика на МИТ. Овој компјутер беше голем само како кутија за кибрит. Едвард Торп и Клод Шенон го донеле уредот во казино во Лас Вегас и го тестирале на рулет, каде што 44% од нивните предвидувања за положбата на топката на тркалото биле точни. Во 1963 година, Хуго Гернсбак измислил очила што комбинирале две антени, а ТВ каналите можеле да се избираат преку копчињата на предната страна на очилата[5]. Во седумдесеттите, функциите на уредите за носење станаа сè покомплексни.

Првиот компјутерски часовник беше издаден во 1975 година. Првата камера поставена на глава исто така беше измислена во седумдесетите и беше специјално дизајнирана за слепи лица. Камерата беше поврзана со елек, а на елекот беа генерирани вибрации за да се обезбедат информации за околината. Во осумдесеттитетите, Walkman стана популарен музички плеер што може да се носи. Уредите за носење се користеле не само за забава, туку и за здравствена заштита. Во 1987 година беше издаден првиот дигитален слушен апарат. Во оваа ера беа измислени и фитнес- тракери. Сензори како што се срцеви монитори, сензори за насока и детектори за вибрации се широко вградени за да се зголемат можностите на уредите што се носат. Покрај тоа, свеста за здравјето се зголеми, што доведе до зголемена употреба на уреди за носење во здравствената заштита во деведесеттите години.

Во 1994 година, канадскиот истражувач Стив Ман разви паметни очила поставени на глава и ги фиксира на својот череп, барајќи специјални алатки за отстранување. На подобрување на овој уред работеше и Стив Ман. Тој го измислил EyeTab, кој комбинира паметни очила со компјутери и интернет. Затоа, тој е познат како татко

[4] Brockwell, H. Forgotten genius: The man who made a working VR machine in 1957. *TechRadar* **2016**, *7*.
[5] Mann, S. Smart clothing: The shift to wearable computing. *Commun. ACM* **1996**, *39*, 23–24

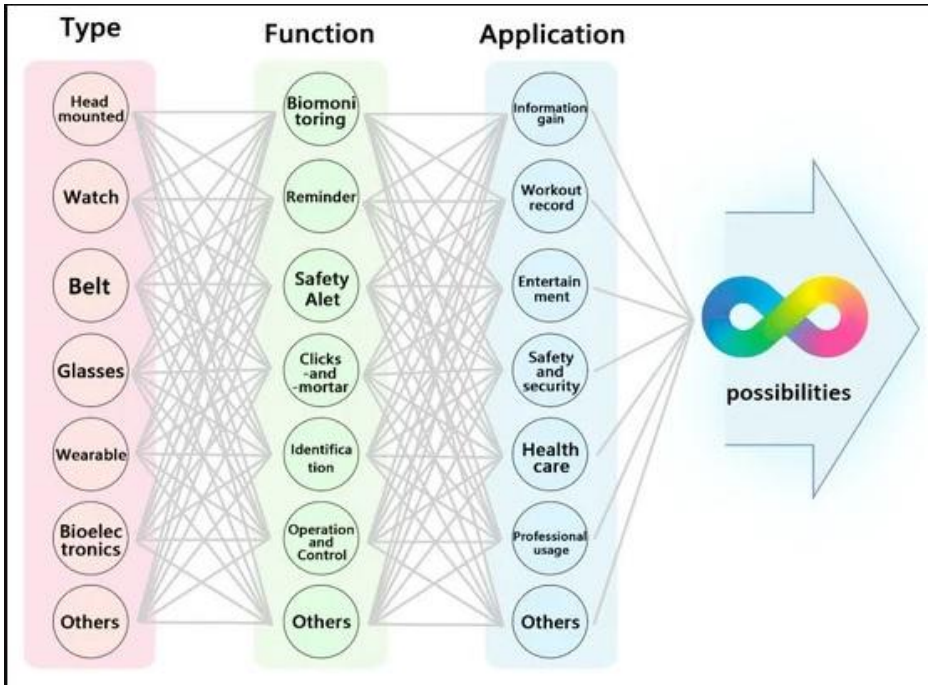
на уредите за носење[6]. Во деведесеттите, Оливети го измислил преносливиот Active Badge, кој обезбедувал локации на корисниците преку инфрацрвени сигнали. Во 20000-тата, i Pod и Bluetooth беа развиени, што доведе до напредок во уредите за носење, кои станаа потенки, полесни и безжични. Од 2010 година, функциите и продажбата на уреди за носење брзо се зголемија поради популарноста на интернет на нештата и безжичните уреди. Здравствените часовници, Google Glasses, Apple Watches, Oculus Rift- слушалките и.т.н., беа развиени во оваа ера. Во 2020-тите, уредите за носење станаа тесно поврзани со нашите животи, со можност информациите за движењето да се оценуваат и да се примаат веднаш. Уредите за носење покажаа значителна истражувачка вредност и потенцијал за примена во многу области, како што се: индустријата, медицинската нега, војската, образованието и забавата. Во 2018 година, Мери Микер изјави дека уредите за носење биле цел на третиот бран на индустриски циклуси по персоналните компјутери, паметните телефони и таблетите[7].

Со зголемената потреба од уреди за носење, научните истражувања се развиваат брзо. Специјализирани лаборатории и истражувачки групи кои се фокусираат на паметни уреди за носење се основани во многу истражувачки институции, како што се: Универзитетот Карнеги Мелон, Технолошкиот институт во Масачусетс, Корејскиот институт за наука и технологија и Факултетот за инженерство на универзитетот во Токио. Иновативните патенти и технологии се развиваат побрзо од кога било досега. Американскиот институт за електротехнички и електронски инженери организираше Комитет за носење ИТ и колумни за компјутери што се носат во неколку академски списанија. IEEE ISWC- меѓународна научна конференција за паметни уреди за носење, беше одржана за првпат во 1997 година.

1.2. Развојниот потенцијал на уредите што се носат

[6] Meeker, M.; Wu, L. *Internet Trends 2018*; Kleiner Perkins: Menlo Park, CA, USA, 2018.
[7] Hickey, A. The rise of wearables: From innovation to implementation. In *Digital Health*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2021; pp. 357–365

Со развојот на науката и технологијата, предложени се физиолошки сензори и уреди за носење со различни форми, вклучувајќи: часовници, нараквици, слушалки, капи, чевли, облека, ѓердани, ремени, лепенки, протетика и очила. Затоа, уредите за носење имаат голем потенцијал за развој (Слика 2). Понатаму, со економскиот раст, зголемената распространетост на интернетот, милениумскиот раст на населението и прифаќањето на интелигентната технологија, сè поголем број компании и истражувачки единици инвестираат ресурси во истражување, развој и иновација на уреди и опрема што се носат.



– *Слика 2. Примена на технологија за носење. Различни форми и материјали се комбинираат со различни сензори и функции и се приспособуваат на специфични апликации, покажувајќи го потенцијалот на уредите што се носат. Развиени се различни видови уреди за носење, како што се часовници, нараквици, слушалки, капи, чевли, облека, ѓердани, ремени, фластери, протетика и очила. Предложени се уреди за носење со функции поврзани со биомониторинг, потсетници, безбедносни предупредувања, малопродажба на кликање и малтер, идентификација, работа и контрола. Конечно, функциите може да се применат за добивање информации, евиденција за вежбање, забава, безбедност и безбедност, здравствена заштита и професионална употреба.*

Уредите за носење нудат значителни економски придобивки[8]. Пандемијата COVID-19 и хроничните болести го променија начинот на живот што ја забрза примената на технологијата за носење во медицинската нега и долгорочното мерење и следење. Медицинските уреди што се носат со безжична комуникациска технологија може лесно да собираат физиолошки податоци според дијагностички потреби, како што се

[8] Yousif, M.; Hewage, C.; Nawaf, L. IOT technologies during and beyond COVID-19: A comprehensive review. *Future Internet* **2021**, *13*, 105.

податоци поврзани со кардиопулмонална функција, шеми на вежбање, содржина на пот, содржина на солзи, содржина на кислород во ткивото, сон, емоционална состојба, когнитивна функција и состојби на мозокот по потрес на мозокот. Покрај тоа, уредите за носење можат да функционираат како пулс- оксиметри, инсулински пумпи и ЕКГ монитори. Откако ќе се соберат и пренесат медицинските податоци, податоците може да се прикачат на платформа и да се управуваат и интерпретираат со вештачка интелигенција. Како резултат на тоа, личната здравствена заштита може да се постигне од далечина, што може да го намали бројот на посети во болница. Овие податоци можат да им овозможат на лекарите и болниците да ја проценат здравствената состојба на поединците преку телемедицинските услуги, а со тоа да ги намалат компликациите од хроничните болести. Како резултат на тоа, глобалното истражување на пазарот за дигитална здравствена заштита брзо се зголемува. Поради популаризацијата на 5G мрежата, подобрувањето на точноста на сензорите и создавањето на платформи со сè поцелосни способности за управување и анализа, овој пазар се очекува дополнително да расте[9].

1.3. Откривање на физички и психолошки стрес со уреди што се носат

Физичкиот и психолошкиот стрес привлекоа значително внимание бидејќи стресот може да влијае на повеќе функции на телото и мозокот. Изразите на лицето, јазикот, физиолошките состојби, биохемиските вредности и моделите на однесување се менуваат со депресија, стрес, анксиозност, замор, нарушување на спиењето, летаргија, губење на апетит и хиперактивност. Затоа, кортизол, пролактин, човечки хормон за раст (HGH), адренокортикотропен хормон (ACTH) и лактат во крвта и плунката се широко прифатени за да се оцени психолошкиот стрес. Биомаркерите може да се проценат инвазивно и неинвазивно. Тестовите на крвта се типичен инвазивен метод, а неинвазивните методи вклучуваат детекција на трепкање на очите[10], проширување на зеницата[11], промени во електроенцефалографија (ЕЕГ)[12] и состав на телесна течност[13]. Преку видео -мониторинг, говорот на телото, гестовите

[9] Sengupta, J.; Baviskar, N.; Shukla, S. Biosignal acquisition system for stress monitoring. In Proceedings of the International Conference on Advances in Information Technology and Mobile Communication, Bangalore, India, 27–28 April 2012; pp. 451–458
[10] Ren, P.; Barreto, A.; Huang, J.; Gao, Y.; Ortega, F.R.; Adjouadi, M. Off-line and on-line stress detection through processing of the pupil diameter signal. *Ann. Biomed. Eng.* **2014**, *42*, 162–176.
[11] Raymond, J.; Varney, C.; Parkinson, L.A.; Gruzelier, J.H. The effects of alpha/theta neurofeedback on personality and mood. *Cogn. Brain Res.* **2005**, *23*, 2–3.
[12] Cheol Jeong, I.; Bychkov, D.; Searson, P.C. Wearable devices for precision medicine and health state monitoring. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* **2018**, *66*, 1242–1258.
[13] Taj-Eldin, M.; Ryan, C.; O'Flynn, B.; Galvin, P. A review of wearable solutions for physiological and emotional monitoring for use by people with autism spectrum disorder and their caregivers. *Sensors* **2018**, *18*, 4271.

и физичката активност може да се користат за да се процени емоционалната состојба на корисниците. Претходните студии потврдија дека визуелните стимули во Меѓународниот систем за афективна слика (IAPS) може да се користат за да се разбудат емоционални реакции. По пет минути стимулација, која вклучуваше групи на пријатни и непријатни слики, испитаниците беа оценувани, вклучувајќи ги и нивните телесни течности. Истражувачите откриja дека нивоата на кортизол, моделите на ЕЕГ, стапките на трепкање и варијабилноста на срцевиот ритам се сите променети, што укажува дека овие податоци потенцијално би можеле да се користат во системите за откривање на стрес[14].

Кога уредите за носење се користат за откривање емоции, повеќе фактори мора сеопфатно да се проценат: срцева фреквенција, варијабилност на срцевиот ритам, респираторна стапка, крвен притисок, ЕЕГ отчитувања, читања на електромиографија (ЕМГ), читања на електроокулографија (ЕОГ), плетизмографија (ППГ), галвански одговор на кожата (ГСР), температура на кожата и.т.н.[15]може да се користи за проценка на емоциите и нивото на стрес. Овие физиолошки промени можат да помогнат да се процени и толкува моменталната надворешна ситуација на субјектот, извршната мотивација и емоционалниот развој. Нивоата на стрес може да се мерат и следат за да се заштити здравјето на луѓето кои работат во стресни ситуации, како што се: лекарите, членовите на војската, сообраќајните контролори и персоналот на службата за итни случаи (на пример, полиција, болничари и пожарникари)[16]. Сепак, постојат ограничувања во однос на препознавањето на нивото на стрес доколку се користи само еден метод за откривање. Оваа статија воведува практични апликации на уреди за носење кои откриваат мозочни бранови, движења на очите и компоненти на пот, развој на систем за откривање емоции и ограничувања на поврзаните истражувања.

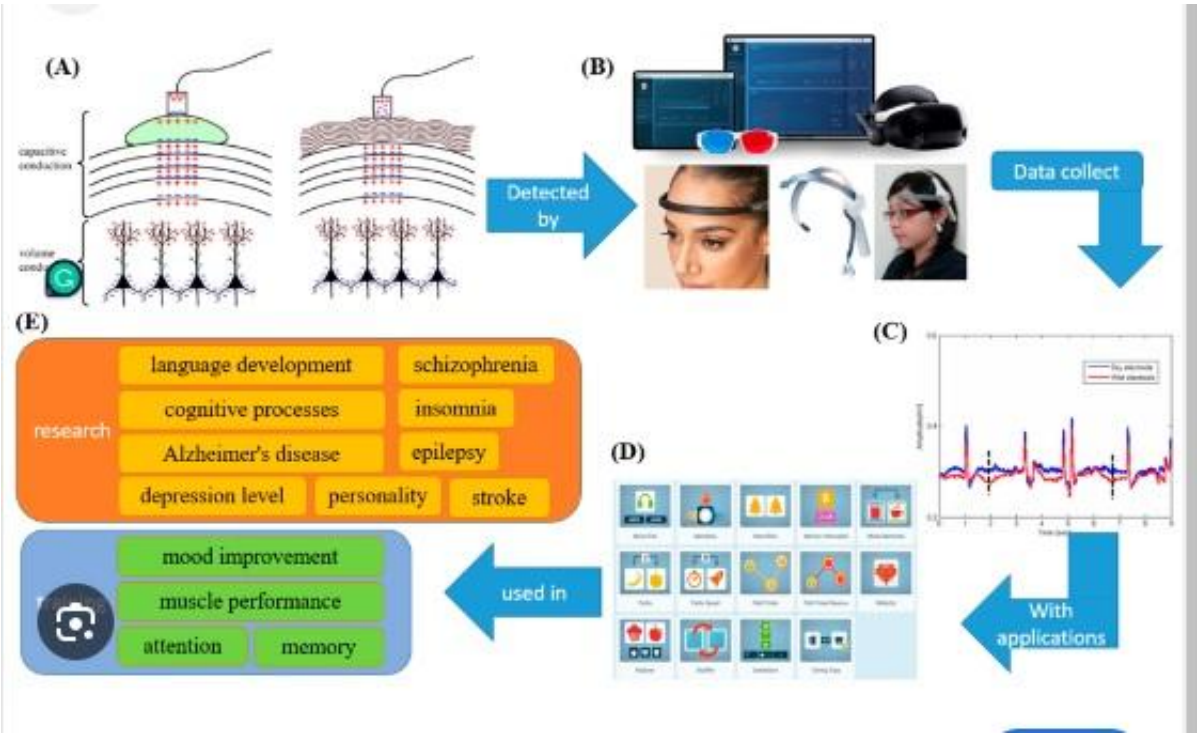
2. Електроенцефалограм

2.1. Што е ЕЕГ?

[14] Diaz-Romero, D.J.; Rincón, A.M.R.; Miguel-Cruz, A.; Yee, N.; Stroulia, E. Recognizing emotional states with wearables while playing a serious game. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **2021**, *70*, 1–12.
[15] Zheng, W.-L.; Liu, W.; Lu, Y.; Lu, B.-L.; Cichocki, A. Emotionmeter: A multimodal framework for recognizing human emotions. *IEEE Trans. Cybern.* **2018**, *49*, 1110–1122.
[16] Suiçmez, A.; Cengiz, T.; Odabas, M.S. An Overview of Classification of Electrooculography (EOG) Signals by Machine Learning Methods. *Gazi Univ. J. Sci. Part C Des. Technol.* **2022**, *10*, 330–338.

Како што работи човечкиот мозок, ЕЕГ сигналите произлегуваат од активностите на синхронизираните синапси меѓу различни популации на кортикални неврони, кои се пирамидални клетки организирани по кортикалните столбови[17]. Во близина на дендритите, возбудувањето на постсинаптичкиот неврон генерира екстрацелуларен напон кој е понегативен од другите области долж невронот, со региони на позитивен и негативен полнеж разделени со одредено растојание. Збирот на блиските позитивно и негативно наелектризирани области е откриен од електродите[18]. Разликата во задолжен може да се открие преку кожата. Сепак, мозокот не е орган со еднаква големина. Нервните клетки имаат миелински обвивки, создавајќи физичка бариера низ која јоните не можат да поминат. Покрај тоа, различните густини на ткивата во мозокот можат да влијаат на ширењето на електричните сигнали [21]. Покрај тоа, пиа матер, дура матер, черепот и скалпот се надвор од мозокот и формираат серија на изолациски слоеви кои го комплицираат преносот на електричниот сигнал. Затоа, потребен е гел како проводник за засилување на сигналите (слика 3А)[19]. Сепак, мерењето на мозочните бранови е тешко да се добијат бидејќи очите и мускулите можат да генерираат електрични полиња. Понатаму, бариерата на черепот и скалпот може да ги ослабат електричните сигнали. Затоа, како правилно да се анализираат ЕЕГ сигналите е исто така суштинско прашање[20].

[17] Buzsáki, G.; Anastassiou, C.A.; Koch, C. The origin of extracellular fields and currents—EEG, ECoG, LFP and spikes. *Nat. Rev. Neurosci.* **2012**, *13*, 407–420
[18] Silva, F.L.d. EEG: Origin and measurement. In *EEg-fMRI*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2009; pp. 19–38
[19] Nunez, P.L.; Srinivasan, R. *Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG*; Oxford University Press: New York, NY, USA, 2006; p. 178
[20] Usakli, A.B. Improvement of EEG signal acquisition: An electrical aspect for state of the art of front end. *Comput. Intell. Neurosci.* **2010**, *2010*, 1–7.



Слика 3. Уред и апликација за откривање ЕЕГ што може да се носи. (А) Невроните генерираат екстрацелуларни напони, а електродите го откриваат збирот на блиските позитивно и негативно наелектризирани области. За засилување на мозочните бранови, неопходни се гел или суви електроди. (Б) Уредите за носење собираат електрични сигнали. (В) Податоците се собираат и пресметуваат. (Г) Уредите за носење може да се користат во различни апликации. (Д) Анализираните податоци би можеле да се користат во истражување за депресија, Алцхајмерова болест, епилепсија, шизофренија, развој на јазикот, когнитивни процеси, меморија, внимание, личност, мозочен удар, несоница, подобрување на расположението и перформанси на мускулите.

Германскиот физиолог Ханс Бергер го објави првиот литературен есеј за човечки мозочни бранови во 1929 година. Мозочните бранови беа собрани во отсуство на стимулација. Ова значи дека е измерена примарната електрофизиолошка активност на мозокот[21]. ЕЕГ сигналите на здравите луѓе може да се поделат на α, β, θ и δ бранови, според фреквенцијата и амплитудата на сигналите. Фреквенцијата на α брановите е 8 до 13 пати во секунда, и додека овие бранови се појавуваат во сите региони на мозокот, тие најчесто се појавуваат во окципиталниот регион. Општо земено, α брановите го покажуваат основниот ритам на здравиот возрасен мозок и се сметаат за најдобри мозочни бранови за учење и размислување. Фреквенцијата на β брановите е 14 до 30 пати во секунда, а овие бранови се поочигледни во фронталните, временските и централните региони. β брановите се пошироко забележани за време на ментална активност и емоционална возбуда, како на пример кога се отвораат очите на една личност и додека размислува. Спротивно на тоа, кога очите се затворени и во мирување, β брановите се појавуваат само во фронталната

[21] Jackson, A.F.; Bolger, D.J. The neurophysiological bases of EEG and EEG measurement: A review for the rest of us. *Psychophysiology* **2014**, *51*, 1061–1071.

област. Општо земено, α бранот е примарен мозочен ритам. Сепак, приближно 6% од луѓето покажуваат докази за β ритми на ЕЕГ кога се ментално стабилни, што покажува дека β брановите може да бидат основен бран. Фреквенцијата на θ брановите е 4 до 7 пати во секунда, а возрасните често може да покажат докази за оваа бранова форма кога се поспани. Покрај тоа, θ брановите се тесно поврзани со лимбичкиот систем, предизвикувајќи длабоки сеќавања и зајакнување на долгорочните сеќавања. Затоа, бранот θ е „портата на меморијата и учењето“. Фреквенцијата на бранот δ е 0,5 до 3 пати во секунда и често се појавува на челото. Здравите возрасни лица покажуваат докази за овој бран само кога се во длабок сон. Затоа, брановите θ и δ колективно се однесуваат на состојбите на човековиот одмор и генерално не се регистрирани во будна состојба. Затоа, θ и δ брановите се нарекуваат бавни бранови[22].

2.2. Како се собираат податоците за ЕЕГ?

Гелот обично е од суштинско значење за откривање на мозочните бранови, бидејќи гелот ја намалува импедансата помеѓу кожата и површината на електродата. Сепак, гелот ја попречува употребата на детектори за мозочни бранови како уреди за носење бидејќи гелот остава остатоци на скалпот, а истекувањето на електродата може да резултира со краток спој помеѓу соседните електроди. Понатаму, гелот се суши при продолжена употреба, што резултира со намалување на вредноста на сигналот на ЕЕГ[23]. Затоа, полусувите или сувите електроди мора да се развијат за да ги заменат влажните електроди од типот на гел[24]. Сувите електроди може да се поделат во три категории: контактни електроди, електроди без контакт и изолирани електроди. Главната разлика помеѓу бесконтактните и изолираните електроди е тоа што дното на изолираната електрода е составено од изолационен материјал. Спротивно на тоа, бесконтактните електроди се формираат од метал и можат да се спојат со коса или облека. Иако квалитетот на сигналот на контактните електроди е подобар, бесконтактните и изолираните електроди полесно се применуваат во уреди што се носат. Сепак, сувите електроди сè уште имаат ограничувања. Бучавата може

[22] Lin, C.-T.; Liao, L.-D.; Liu, Y.-H.; Wang, I.-J.; Lin, B.-S.; Chang, J.-Y. Novel dry polymer foam electrodes for long-term EEG measurement. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* **2010**, *58*, 1200–1207.
[23] Liu, N.-H.; Chiang, C.-Y.; Chu, H.-C. Recognizing the degree of human attention using EEG signals from mobile sensors. *Sensors* **2013**, *13*, 10273–10286.
[24] Gil, H.; Gonçalves, V. The use of «Peak & Neuronation» digital applications for the inclusion of older adults: A case study at USALBI. In Proceedings of the 2017 International Symposium on Computers in Education (SIIE), Lisbon, Portugal, 9 November 2017; pp. 1–5.

брзо да се зголеми кога корисникот се движи[25]. Затоа, во 2011 година, Лин и сор. разви гел од сува пена за да ги замени влажните електроди. Оваа сува електрода е составена од спроводлива полимерна пена изработена од полиуретан. Покрај тоа, оваа сува електрода го намалува отпорот помеѓу кожата и електродата и може да се користи при движење. Квалитетите на сигналот се подобри од оние на влажната електрода при долгорочно детекција на ЕЕГ [26].

2.3. Примената на ЕЕГ во мерење на физичките ситуации, ослободување од стрес и управување со емоции

Кога ќе се случи специфичен физички или психолошки настан за време на снимањето на ЕЕГ, флуктуациите на напонот во податоците за ЕЕГ може да се измерат и снимат, а бучавата може да се филтрира. Потоа, може да се пресметаат промените во потенцијалот на мозокот и да се одреди потенцијалот поврзан со настани (ERP) (Слика 3В). Кореспонденцијата помеѓу ЕЕГ, ERP и специфичните физички и психолошки настани може да се користи за да се процени нивото на депресија[27], Алцхајмерова болест, епилепсија, шизофренија , јазичен развој, когнитивни процеси , меморија, внимание, личност, мозочен удар, несоница , подобрување на расположението и перформанси на мускулите (Слика 3Д).

Мозочните бранови не само што можат да укажат на ситуации на корисникот, туку и да ги подобрат надворешните перформанси преку обука на мозочните бранови. На пример, когнитивните функции, како што се работната меморија, вниманието, брзината на визуелна обработка и менталните и емоционалните состојби, може да се подобрат со намерно менување на движењата на очите, што може значително да ги зголеми оптималните перформанси[28]. Хирурзите можат да го намалат времето на операција за 26% и да ги подобрат перформансите со тренирање на сензорни моторни ритам-тета мозочни бранови. Затоа, развиени се многу уреди за носење кои можат да вршат ЕЕГ и ЕОГ и да детектираат други физиолошки состојби. Покрај тоа, податоците што се собираат од уредите за носење може да се анализираат од придружните апликации. Потоа, може да се одреди моменталната ситуација на

[25] İnce, R.; Adanır, S.S.; Sevmez, F. The inventor of electroencephalography (EEG): Hans Berger (1873–1941). *Child's Nerv. Syst.* **2021**, *37*, 2723–2724.
[26] Brazier, M.A. The analysis of brain waves. *Sci. Am.* **1962**, *206*, 142–155.
[27] Ferree, T.C.; Luu, P.; Russell, G.S.; Tucker, D.M. Scalp electrode impedance, infection risk, and EEG data quality. *Clin. Neurophysiol.* **2001**, *112*, 536–544.
[28] Ros, T.; Moseley, M.J.; Bloom, P.A.; Benjamin, L.; Parkinson, L.A.; Gruzelier, J.H. Optimizing microsurgical skills with EEG neurofeedback. *BMC Neurosci.* **2009**, *10*, 1–10.

поединецот, да се обучат когнитивните функции и да се ослободи од стресот. На пример, Musetm од InterAxon е детектор за ЕЕГ што може да се комбинира со други машини и апликации (на пр., Lowdown Focus, Opti Brain™ верзија 3.12) за управување со емоции. Друга апликација, NeuroTracker, беше основана пред 30 години како алатка за истражување (слика 3Б)[29]. NeuroTracker е создаден како алатка за обука за подобрување на когнитивните функции, вклучувајќи работна меморија, брзина на визуелна обработка и внимание. NeuroTracker се користи за испитување и учење за контрола на мускулите кај спортистите, подобрување на когнитивната функција на пациенти со потрес на мозокот и подобрување на физичката компетентност кај постарите возрасни лица[30]. Многу други уреди за носење се комбинирани со апликации, а овој сет на уреди може да се користи за проценка, воспоставување и одржување на концентрацијата, брзината на обработка на пораките, меморијата и вештините за решавање проблеми. Овие уреди за носење вклучуваат Fit Brains Trainer (Rosetta Stone, Arlington, VA, САД), Elevate Brain Training (Elevate, Сан Франциско, Калифорнија, САД), Lumosity (Lumos Labs, Сан Франциско, Калифорнија, САД) и (NeuroNation, Берлин, Германија). Понатаму, производите на NeuroNation може да се надоместат од германското здравствено осигурување (Слика 3Д).

2.4. Откривање на емоции со ЕЕГ

Емоционалните промени може да се проценат директно преку ЕЕГ сигнали бидејќи емоциите се поврзани со промените на напонот предизвикани од протокот на јонски струи меѓу невроните во мозокот. Париеталниот лобус е поврзан со алгезија, вкус и критичко размислување. Темпоралниот лобус е одговорен за слухот и меморијата. Тилниот лобус управува со задачите поврзани со видот. Фронталниот лобус е првенствено поврзан со сензација, критичко размислување, говор и движење[31]. Левата хемисфера е поактивна за време на позитивни емоции, а десната хемисфера е поактивна за време на негативни емоции бидејќи распределбата на алфа- брановите се менува со различни емоции[32]. Оваа асиметрија на ЕЕГ сигналот може да се

[29] Stockman, C. Can a technology teach meditation? Experiencing the EEG headband interaxon muse as a meditation guide. *Int. J. Emerg. Technol. Learn. (Ijet)* **2020**, *15*, 83–99.
[30] Liao, L.-D.; Lin, C.-T.; McDowell, K.; Wickenden, A.E.; Gramann, K.; Jung, T.-P.; Ko, L.-W.; Chang, J.-Y. Biosensor technologies for augmented brain–computer interfaces in the next decades. *Proc. IEEE* **2012**, *100*, 1553–1566.
[31] Lystad, R.P.; Pollard, H. Functional neuroimaging: A brief overview and feasibility for use in chiropractic research. *J. Can. Chiropr. Assoc.* **2009**, *53*, 59.
[32] Trainor, L.J.; Schmidt, L.A. *Processing Emotions Induced by Music*; Oxford University Press: New York, NY, USA, 2003; pp. 310–324.

примени за откривање емоции. Гонзалес и соработниците го користеше хардверот BioCNN со конволутивна невронска мрежа за да го подобри квалитетот на нервниот сигнал. Точноста на препознавањето на емоциите беше приближно 85%, што беше повисока од онаа добиена со другите методи на евалуација (приближно 77,57%) . Покрај тоа, типот на електродата, алгоритмот за собирање податоци, подготвеноста на корисниците и методите за обработка на информации би можеле значително да влијаат на точноста на препознавањето на емоциите.

2.5. Ограничувања на ЕЕГ детекција

Многу фактори влијаат на мерењата на ЕЕГ. Поставувањето на електродите, типовите електроди, квалитетот на засилувачот на сигналот, методите за обработка на сигналот и движењата на корисникот (движење на очите, трепкање, промени на изразот на лицето итн.) може да предизвикаат значителна количина на шум, што може да биде тешко за ракување со ЕЕГ сигналите. За ЕЕГ сензорите да се користат во уреди за носење, мора да се решат горенаведените проблеми. Следствено, контактните електроди добиваат податоци само од префронталниот лобус, а други сензори, како што се EOG, магнетоенцефалографија (MEG), температурата на телото и сензорите за отчукување на срцето, се користат за да се добијат дополнителни информации за сеопфатно проценување на апликацијата[33].

3. Движење на очите

3.1. На кои начини се движат очите?

[33] Chen, Y.-H.; Sawan, M. Trends and challenges of wearable multimodal technologies for stroke risk prediction. *Sensors* **2021**, *21*, 460.

Движењето на очите може да обезбеди значителни количини на информации. Човечките очи постојано се движат, а некои дејства се ненамерни или потсвесни. На пример, очите влегуваат во состојба на движење со голема брзина наречена сакади кога читаме, каде што очите брзо се движат од збор до збор. Кога влегуваме во просторија, нашите очи широко ја пробиваат околината. Очите исто така прават мали, несвесни движења за да се спротивстават на тресењето на главата и да обезбедат стабилен вид кога одиме. За време на спиењето, очите се движат од страна на страна за време на фазата на брзо движење на очите. Се покажа дека движењата на очите откриваат процеси на размислување[34]. Покрај тоа, проширувањето на зеницата е поврзано со несигурност во донесувањето одлуки [81,82], а движењата на очите можат да го олеснат враќањето на меморијата [83,84,85]. Се дискутираат следните методи за мерење на движењето на очите: следење на очите и ЕОГ.

3.2. Како може да се соберат податоци за движењето на очите?

3.2.1. Следење на очите

Податоците за откривање на движењето на очите се широко користени во истражувањето, како што се работата поврзана со препознавање на когнитивното оптоварување, читање со разбирање, дизајн на презентација, одвраќање и насочување на вниманието и некои интерфејси човек-компјутер (HCI). Тракерите за очи се стандарден систем за откривање различни движења на очите и се составени од мали камери кои можат да се инсталираат на маси, полици или во уникатни капачиња без контакт со очите. Податоците за положбата на очите може да се снимаат за да се следи положбата на зеницата, времето на фиксација, насоката на фиксирање, повторувањата на фиксацијата, должината на сакадата и дијаметарот на зеницата. Овој тип на уред е видео- тракер за очи[35].

Сепак, постојат одредени потешкотии во мерењето и користењето на податоците за движењето на очите. Физиолошките студии откријa разлика во брзината помеѓу очите за време на очните сакади. Движењата на очите кон носната страна се побавни, додека оние кон надворешниот свет се побрзи. Овој мал јаз, познат како фиксациски

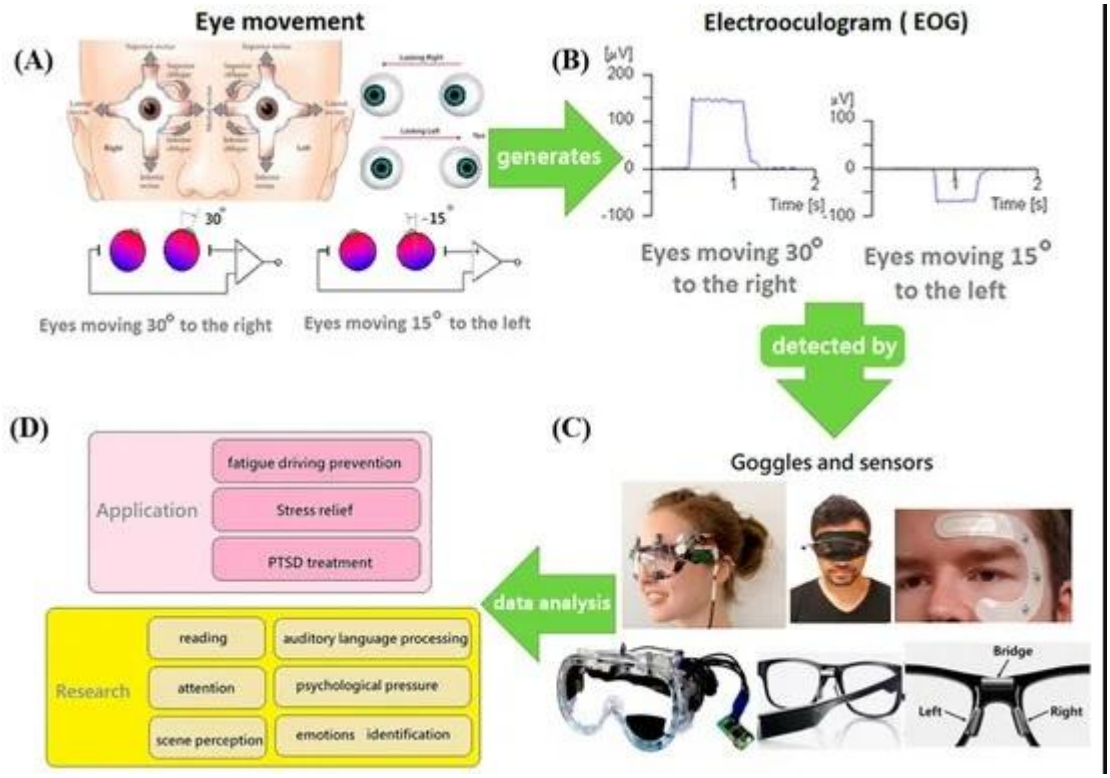
[34] Preuschoff, K.; 't Hart, B.M.; Einhäuser, W. Pupil dilation signals surprise: Evidence for noradrenaline's role in decision making. *Front. Neurosci.* **2011**, *5*, 115.
[35] Huang, M.X.; Kwok, T.C.; Ngai, G.; Chan, S.C.; Leong, H.V. Building a personalized, auto-calibrating eye tracker from user interactions. In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, San Jose, CA, USA, 7–12 May 2016; pp. 5169–5179.

диспаритет, е позитивно поврзан со сакадното растојание. Овој мал јаз најверојатно се должи на промената на растојанието помеѓу две букви при читање; очите се спојуваат по зјапањето, што покажува дека овој фиксациски диспаритет може да се прилагоди од различни околности. Затоа, седечкото држење, корекција на бинокулата и движењето на главата и телото значително влијаат на откривањето на движењето на очите. Физиологијата на движењата на очите и машинската корекција се технички прашања во мерењето на движењата на очите[36].

3.2.2. ЕОГ

Некои ограничувања во откривањето на движењето на очите се должат на проблеми со животната средина и корисникот. Затоа, мерењето на очниот потенцијал е решение за следење на движењата. Потенцијалот на очите се однесува на потенцијалната разлика од неколку десетици mV генерирани помеѓу рожницата и мрежницата на окото (слика 4А). Генерално, страната на човечката рожница е позитивно наелектризирана, а страната на мрежницата е негативно наелектризирана; така, може да се препознае потенцијална разлика (слика 4Б). За да се измери оваа потенцијална разлика, може да се постават електроди на кожата околу очите, а откриено е дека можните промени произлегуваат од движењата на очите и трепкањето. Сензорот може да открие и да ја измери потенцијалната разлика, што би можело да се искористи за да се испита видот, менталната состојба и нивото на замор[37]. Неодамна, EOG сензорите се усвоени во медицинските апликации, кои се поврзани со вградени кориснички интерфејси (UI) за подобрена употреба. Овие сензори може да се користат при откривање на поспаност.

[36] Holmqvist, K.; Blignaut, P. Small eye movements cannot be reliably measured by video-based P-CR eye-trackers. *Behav. Res. Methods* **2020**, *52*, 2098–2121.
[37] Blue, C. Utlizing eye-tracking technology and data to augment UX-UI web development curriculum. In Proceedings of the INTED2021 Proceedings, Online, 8–9 March 2021; pp. 424–430.



– *Слика 4. Уред и апликација за откривање EOG што може да се носи. (А) Шест мускули ги контролираат фино-моторните движења на секое око . (Б) Сигналите за електроокулографија (EOG) се позитивни кога очите се движат кон десно (хоризонтално). Спротивно на тоа, EOG сигналите се негативни кога окото се движи налево . (В) Развиени се неколку очила и сензори за откривање на EOG сигнали. (Г) По анализата на податоците, уредите за носење за откривање на ЕОГ може да се применат во превенција од заморно возење , ослободување од стрес и третман на ПТСН. Покрај тоа, EOG уредите за носење може да се користат како опрема за истражување за истражување на механизмите на читање, внимание, перцепција на сцена, обработка на аудитивни јазици, психолошки притисок и емоционална идентификација.*

Во споредба со ЕЕГ, ЕОГ покажува подобар сигнал, поголема амплитуда, подобар однос сигнал-шум и полесни услови за снимање. Сепак, собирањето на сигнали за ЕОГ страда од слични проблеми како и собирањето на ЕЕГ сигналот. На пример, сензорните електроди бараат употреба на гел помеѓу кожата и електродите за да се подобри одговорот, или сензорите треба да се поврзат. Без оглед на типот на електродата, таа може да биде незгодна или непријатна за корисниците. Затоа, во развојот на нови уреди за носење за мерење на EOG, две до три суви електроди беа вградени во рамки за очила и влошки за носот. Во друга студија, некои електроди беа направени од сребро и фиксирани на соодветно место со полиуретанска мембрана за собирање податоци[38] (Слика 4C). Без оглед на методот на поставување на електродата, програмерите мора да ги решат удобноста при носењето, удобноста и точноста на собирање податоци.

[38] Rayner, K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychol. Bull.* **1998**, *124*, 372.

3.3. Различни средства за носење од типот на очила за откривање замор и интерфејси човек-компјутер

Движењата на очите обезбедуваат значителна количина на информации кои можат да се применат во невронауката, психологијата, индустриското инженерство, инженерството на човечки фактори, маркетингот/рекламирањето, компјутерската наука итн.. Психолошките истражувања работеа на добивање информации за читање, перцепција на сцена, решавање проблеми, обработка на аудитивни јазици, внимание[39], препознавање емоции и емоционален стрес ослободување од стрес . Затоа, уредите за носење од типот на очила за откривање на ЕОГ или движење на очите може да се применат за да се испита уморното возење, да се идентификуваат емоционалните промени и да се третира ПТСН и во апликации поврзани со читање, внимание, перцепција на слики, решавање проблеми и обработка на аудитивниот јазик (слика 4D).

Во изборот и внесувањето со помош на очите (EASE), времето на фиксирање на очите се користи како индикатор, а маневрирањето со курсорот на екран обично бара помеѓу 78,81 и 131,45 мс одржлив фокус[40]. Во 2006 година, студиите на EASE покажаа дека само 81% од изборот на предмети биле правилно класифицирани со трагачи за очи. Оваа интеракција човек-машина со помош на движења на очите е многу зависна од дизајнот на интерфејсот. „KIBITZER“ е уред за носење кој е развиен во 2010 година, кој може да ја детектира видната линија на корисниците и моменталната сцена преку тракер за очи на главата, а две леќи на камерата ја зголемуваат точноста на податоците за движењето на очите. Податоците за движењето на очите се пренесуваат на компјутер, овозможувајќи му на корисникот да прима текстуални или гласовни објаснувања за подобро да ја разбере околината. Сепак, овој систем има некои недостатоци. Кога светлото на околината е премногу светло, големината на зеницата и функциите за следење на погледот може да се нарушат. Спротивно на тоа, кога околината е темна и не се обезбедени доволно вештачки извори на светлина, системот не може да ја открие околината.

[39] Guo, J.-J.; Zhou, R.; Zhao, L.-M.; Lu, B.-L. Multimodal emotion recognition from eye image, eye movement and EEG using deep neural networks. In Proceedings of the 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Berlin, Germany, 23–27 July 2019; pp. 3071–3074.
[40] Møllenbach, E.; Lillholm, M.; Gail, A.; Hansen, J.P. Single gaze gestures. In Proceedings of the 2010 symposium on eye-tracking research & applications, Austin, TX, USA, 22–24 March 2010; pp. 177–180.

Поради ограничувањата на тракерите за очи, различни апликации поврзани со EOG сигналите се развиени во истражувањето на интерфејсот човек-машина, како што се препознавање очни болести, виртуелна компјутерска тастатура и контрола на глувчето, контрола на инвалидска количка[41], компјутер игри, машинска контрола и поедноставени кинески системи за пишување очи. Сепак, точноста на добиените податоци е ограничена ако податоците се собираат само со тракери за очи или мерења на ЕОГ. Мултимодалните методи за снимање сигнали за движење на очите кои вклучуваат ЕЕГ, ЕМГ и тракери за очи може значително да ги подобрат перформансите на системот за интерфејс меѓу човекот и машината[42].

Во 2021 година, беше развиен уред кој ги детектира движењата на човечкото око преку методи базирани на видео, сигнали за ЕОГ и инфрацрвена окулографија. Инфрацрвената окулографија користи рефлексија на блиска инфрацрвена светлина на рожницата за да ја одреди положбата на очите и може да се користи во темни средини. Во овој систем, хардверот и софтверот се усвоени преку соработка на видео системи, двојни слики од Пуркиние и оптички системи за следење на очите за да се подобри обработката на сликите. Со овој систем, точноста на откривање на движењето на очите драстично се подобри. Најголема прецизност од приближно 96% беше постигната со движења на очите нагоре, додека гледањето надесно резултираше со најмала точност од приближно 87,67%. Речиси 100% од неважечките информации, како што се трепкање и погледи со широк опсег, беа игнорирани. Овој систем за интеракција човек-компјутер за откривање на движењата на очите може да разликува десет движења на очите (т.е. горе, долу, лево, десно, крајно лево, крајно десно, горе лево, долу лево, горе десно и долу десно). Покрај тоа, овој систем обезбедува интерфејс за око-бирање што може да им овозможи на пациентите со амиотрофична латерална склероза (АЛС), мозочен удар на мозочното стебло, повреда на мозокот или 'рбетниот мозок, мускулна дистрофија, церебрална парализа или мултиплекс склероза да ги изразат своите намери и непречено да комуницираат со другите. 95. Сепак, овој систем има некои недостатоци. Инфрацрвените сензори се скапи за производство, а долготрајната инфрацрвена изложеност може да предизвика непријатност во очите.

---

[41] Champaty, B.; Jose, J.; Pal, K.; Thirugnanam, A. Development of EOG based human machine interface control system for motorized wheelchair. In Proceedings of the 2014 Annual International Conference on Emerging Research Areas: Magnetics, Machines and Drives (AICERA/iCMMD), Kottayam, India, 24–26 July 2014; pp. 1–7.

[42] Ma, J.; Zhang, Y.; Cichocki, A.; Matsuno, F. A novel EOG/EEG hybrid human–machine interface adopting eye movements and ERPs: Application to robot control. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* **2014**, *62*, 876–889

„JINS MEME“ е уред за носење од типот на очила кој беше издаден од јапонскиот производител на очила JIN во мај 2014 година. може да се заклучи во реално време. Движењето на погледот може да се вметне во апликации за паметни телефони и уреди во возилото. Корисниците можат да вртат страници и да избираат икони гледајќи во екранот на паметниот телефон. Преку континуирано стекнување и анализа на информациите за погледот и трепкањето, системот може да открие замор и поспаност на корисникот бидејќи очите прават уникатни движења, како што се неправилно или брзо трепкање, кога луѓето сакаат да спијат или се под стрес. Така, JINS MEME може да помогне да се спречи поспаното возење[43]. Во 2015 година, друга студија комбинираше детекција на ЕЕГ и концентрација на оксихемоглобин за да развие систем за откривање на замор кој може попрецизно да ги одреди промените на состојбата за време на заморно возење.

Постојат предности и недостатоци за користење на ЕОГ и ЕЕГ во техниките за интеракција човек-компјутер. ЕОГ сигналите може да се прошират на целиот скалп кога се ротираат човечките очи, што може да предизвика пречки помеѓу ЕОГ и ЕЕГ. Откривањето на ЕОГ во интеракциите човек-компјутер бара значителна физичка сила за некои пациенти кои не можат добро да ги користат очните мускули. Спротивно на тоа, ако се посакуваат само податоци за ЕЕГ, ЕОГ се примарен извор на пречки. Фрагментите од мозочните бранови нарушени од EOG обично се бришат, што се нарекува метод на отфрлање и може да доведе до губење на податоци и пристрасност и неуспех да се набљудуваат ефектите поврзани со движењето на очите. Затоа, EOG сигналите може да се мерат независно и да се одземат од податоците за ЕЕГ користејќи различни методи на регресија за да се обезбедат податоци без човечко мешање. Многу методи за отстранување на ЕОГ сигналите од ЕЕГ имаат ограничувања. Иако откривањето на ЕЕГ троши помалку физичка енергија, ЕЕГ сигналите имаат поголем шум и помала точност од ЕОГ сигналите. Затоа, комбинацијата на ЕОГ и ЕЕГ дава подобри резултати во интеракциите човек-компјутер. Така, многу уреди за носење комбинираат ЕЕГ и ЕОГ. Кога се откриваат нивоата на замор и однесувањето на спиењето, ЕЕГ сигналите често се додаваат за колективно расудување за да се добијат точни толкувања.

[43] Uema, Y.; Inoue, K. JINS MEME algorithm for estimation and tracking of concentration of users. In Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers, Maui, HI, USA, 11–15 September 2017; pp. 297–300.

3.4. Откривање на емоции со ЕЕГ

Корисничкиот интерес, процесите на визуелно пребарување и обработката на информации се анализирани со помош на движења на очите во претходните студии. Покрај тоа, фреквенцијата на трепкање, стапката на фиксација, максималното времетраење на фиксацијата, вкупната дисперзија на фиксација, максималната дисперзија на фиксација, стапката на сакада, просечното времетраење на сакадата, доцнењето на сакадата, просечната амплитуда на сакадата и сигналите на ЕОГ може да ги одразуваат емоционалните перформанси. Дијаметарот на зеницата е најчесто користената карактеристика за препознавање емоции. Дијаметарот на зеницата се зголемува за време на позитивни емоции. Затоа, големината на зеницата се смета за сигурен показател за позитивни емоции. Анвар и сор. ја користел положбата и големината на зеницата доловени со уредите за следење на очите и времетраењето на фиксацијата и предложил систем за препознавање на изразот на лицето и проценка на погледот. Системот можеше да ги препознае: среќата, лутината, тагата, неутралните емоции, изненадувањето, одвратноста и стравот, а стапката на правилна дискриминација на емоциите беше приближно 90% . Раудонис и сор. ги подели емоциите на четири типа: неутрални, згрозени, смешни и заинтересирани и користеше брзина на движење на очите, големина на зеницата и позиција на зеницата за препознавање емоции. Просечната точност на препознавање беше приближно 90%, а најголемата прецизност беше добиена при класифицирање на „интерес“ . Сепак, откривањето на емоциите преку движења на очите бара повеќе променливи за да се зголеми точноста на препознавање на 85%. Ако се користат само податоците за EOG за откривање на емоции, стапката на препознавање за четири емоции е приближно 88,3% или 77,11%. Ако се користи само големината на зеницата за одредување на емоциите, стапките на точност се само 58,9% и 59% . Затоа, неопходно е да се користи мултимодален метод во емоционалното расудување за да се подобри точноста на податоците и да се диверзифицираат препознатливите емоции.

3.5. Ограничувања на откривање на движењето на очите

Движењето на човечките очи е под влијание не само од физиолошките и психолошките услови на поединецот, туку и од интензитетот на светлината на околината и видот на електродите. Точноста на обработката на сигналот влијае на толкувањето на податоците. Затоа, мултимодалното заедничко расудување е од суштинско значење за решавање на ограничувањата на откривањето на движењето на очите. Понатаму, различните електроди, сензори, приемници на сигнали и алгоритми развиени за уреди што се носат го направија откривањето на движењето на очите попопуларно.

4. Детекција на пот

4.1. Компоненти за пот

Повеќето биомаркери се присутни во крвта, а потта се транспортира до површината на кожата преку дермалните канали. Затоа, концентрациите на биомаркерите во потта би можеле да одговараат на оние во крвта и може да бидат значителни показатели за здравјето на луѓето . Јоните, метаболитите, киселините, хормоните, малите протеини и пептидите секретирани во потта може да се детектираат за да се идентификуваат различни физиолошки состојби. Дополнително, потните жлезди се наоѓаат во речиси секој дел од кожата и лесно може да се пристапи без употреба на игли или други инвазивни уреди [44]. Како резултат на тоа, откривањето на пот стана најпопуларен метод во истражувањето за биомониторинг што може да се носи, повеќе од откривањето на солзи, интерстицијална течност (ISF), здив, плунка или ексудат на рана [45].

Потта се лачи од потните жлезди, а овој процес е регулиран од автономниот нервен систем. Излачувањето и испарувањето на пот помага да се однесе големо количество топлина, со што се лади поединецот, а компонентите на пот не само што го отстрануваат отпадот, туку и ја навлажнуваат кожата, го омекнуваат кератинот, предизвикуваат закиселување на епидермисот и го спречуваат размножувањето на

[44] Sonner, Z.; Wilder, E.; Heikenfeld, J.; Kasting, G.; Beyette, F.; Swaile, D.; Sherman, F.; Joyce, J.; Hagen, J.; Kelley-Loughnane, N. The microfluidics of the eccrine sweat gland, including biomarker partitioning, transport, and biosensing implications. *Biomicrofluidics* **2015**, *9*, 031301.
[45] Taylor, N.A.; Machado-Moreira, C.A. Regional variations in transepidermal water loss, eccrine sweat gland density, sweat secretion rates and electrolyte composition in resting and exercising humans. *Extrem. Physiol. Med.* **2013**, *2*, 1–30.

бактериите. Потта главно се состои од вода (99%), а останатите елементи вклучуваат електролити (натриум, калиум, магнезиум и калциум), млечна киселина, уреа, амонијак, протеини, карбонат, кортизол и разни невропептиди и цитокини. Концентрацијата на потните соединенија варира кај поединци поради разликите во активноста на потните жлезди и стапката на секреција. Просечниот човек се поти само приближно 600-700 mm3 дневно.

4.2. Како може да се детектираат компонентите на потта?

Потта може континуирано и неинвазивно да обезбедува обилни биомаркерски мерења на јони, лекови, метаболити и биомолекули, вклучувајќи K+, Na+, Ca2+, Cl−, лактат, гликоза, амонијак, етанол, уреа, кортизол и разни невропептиди и цитокини. Развиени се различни методи за анализа на потта. На пример, потенциометрија и волтаметрија за соголување на квадратни бранови може да се користат за откривање на јони во потта, а хроноамперометријата може да се користи за откривање лекови , гликоза и метаболити во пот. Покрај методите поврзани со биоелектрониката што се користат за испитување на компонентите на потта, развиени се специфични биоанализи кои комбинираат метални материјали со антитела за откривање на мали концентрации на хемикалии во потта. На пример, кортизолот во потта може да се мери со нано листови од цинк оксид, кои се комбинираат со антитела на кортизол и се многу чувствителни (тие можат да детектираат концентрации кои се движат од 1 до 200 ng/mL во пот). Кортизолот може да одразува психолошки или физиолошки стрес. Мускулната активност е предвидена со K+ и концентрациите на лактат во потта. Количините на овие две соединенија во потта се исти како оние во крвта. Така, K+ и лактат може да се користат за да се оцени физичкиот напор и интензитетот на вежбање на корисниците. Покрај тоа, концентрацијата на гликоза во потта може да се користи за постојано следење на гликозата во крвта.

Покрај проценката и анализата на функциите на телото, откривањето на пот може лесно да се користи за откривање на физиолошки и психолошки стрес. Потта обично се лачи за да се регулира температурата на телото. Сепак, кога нивото на анксиозност кај една личност се зголемува, автономниот нервен систем произведува низа физиолошки одговори за да се прилагоди на стресот, како што се зголемен пулс, проширување на зеницата и секреција на пот што се јавува на целата кожа, особено на дланките, стапалата на една личност, и пазувите, овој одговор обично не е

поврзан со температурата на околината. Сепак, потењето се зголемува и намалува за време на ментална релаксација и спиење. Количината на млечна киселина и уреа во потта значително се зголемува кога индивидуалниот стрес се зголемува. Претходните студии покажаа дека исплашените луѓе имаат одвратни изрази на лицето, зголемена будност и посилен мирис на пот. Сепак, различни стресови можат да влијаат на секрецијата на хормоните, како што се факторот за ослободување на кортикотропин (CRF), ACTH, минералокортикоидите, инсулинот и hGH. Во 2016 година, беше развиена комбинација од сензори и антитела, во која златни нано - честички и антигени на кортизол беа обложени на површината на сензорот. Кога кортизолот се врзал за површината, златните нано-честички станале црвени. Оваа техника е стабилен и конкурентен метод кој може да се користи за развој на уреди за носење што ја менуваат бојата за да се детектираат нивоата на стрес кај корисниците.

4.3. Примена на детекција на пот за одредување на движењето и емоциите на телото

Компонентите во потта се сложени и лесни за откривање, а развиени се и различни сензори за откривање на компоненти на пот. Во 2021 година, колориметриските фотоелектроди кои селектираат со јони беа вткаени во ткаенините на иновативна спортска облека за да се детектираат концентрациите на рн, Na+ и K+ во потта за да се процени нивото на физичка активност на носителот. Покрај тоа, два паметни часовници наречени Cortisol Apta-Watch (CATCH) и CortiWatch можат да ги детектираат количините на кортизол во потта за да го одразуваат физичкиот и менталниот стрес. Со минимални грешки, концентрациите на кортизол во потта може да се откријат со зета- потенцијал, фуриеова трансформација на инфрацрвена спектроскопија (FTIR) и електрохемиски мерења. Затоа, луѓето би можеле да бидат информирани за нивните нивоа на стрес, а нивото на стрес може лесно да се следи, дозволувајќи им на лекарите да обезбедат поедноставни дијагнози и третмани.

4.4. Ограничувања на детекција на пот

Уредите за носење кои користат детекција на пот за да го проценат физичкото или психолошкото здравје нудат големи придобивки. Компонентите и концентрациите

во потта може да ги претставуваат хемикалиите во крвта. Така, дијабетесот, функцијата на бубрезите, интензитетот на вежбање, цистичната фиброза и концентрацијата на алкохол би можеле да се следат и да се откријат физиолошки промени. Сепак, многу тешкотии мора да се надминат. Односите на составот во пот се разликуваат од оние во плазмата. Така, претворањето на концентрациите на пот во концентрации во плазмата е најкритичното прашање што мора да се реши. Покрај тоа, количините и хемиските количини во пот се разликуваат кај поединци, а микроелектродите предизвикуваат потење на кожата. Треба да се потврди дали составот на индуцираната пот е ист како оној на вистинската пот. Моделите на активност на поединците, исто така, влијаат на секрецијата на пот. Така, анализата на составот на пот може да биде доволно точна за да се процени физичката и психолошката состојба.

5. Биосензори и нивните апликации - преглед

Различните типови на биосензори, како што се **ензимски, ткивни, имуносензори, ДНК биосензори, термички и пиезоелектрични** биосензори[46i] се разгледани овде за да се истакнат нивните незаменливи апликации во многубројни полиња.

Некои од популарните области во кои се имплементира употребата на биосензори се прехранбената индустрија за да се контролира нејзиниот квалитет и безбедност, за да се помогне да се направи разлика помеѓу природното и вештачкото. Во индустријата за ферментација и во процесот на сахарификација за откривање на прецизни концентрации на гликоза, во метаболичкото инженерство за да се овозможи„ in vivo“ следење на клеточниот метаболизам. Биосензорите и нивната улога во медицинската наука, вклучително и рана фаза на откривање на човечки интерлеукин-10 што предизвикува срцеви заболувања, брзо откривање на хуман папилома вирус и.т.н. се важни аспекти. Флуоресцентните биосензори играат витална улога во откривањето на лекови и во ракот. Апликациите за биосензори се распространети во секторот за биологија на растенијата за да се откријат врските

[46]https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4862100/#:~:text=Biosensors%20are%20analytical%20devices%20that,temperature%20and%20should%20be%20reusable.

што недостасуваат потребни во метаболичките процеси. Други апликации се вклучени во одбраната, клиничкиот сектор и за морски апликации.

5.1. Видови биосензори

Биосензорите започнаа во 1960-тите од пионерите Кларк и Лион. Различни видови биосензори се користат: ензимски, ткивни, имуносензори, ДНК биосензори и термички и пиезоелектрични биосензори.

Првиот сензор базиран на ензими беше пријавен од Апдајк и Хикс во 1967 година. Ензимските биосензори се измислени за методите на имобилизација, т.е. адсорпција на ензимите од силите на Ван дер Валс, јонско поврзување или ковалентно поврзување. Најчесто користени ензими за оваа намена се оксидоредуктази, полифенол оксидази, пероксидази и аминооксидази.

Првиот сензор базиран на микроби или клеточен сензор беше актуелизиран од Дивиес. Ткивата за ткивните сензори произлегуваат од растителни и животински извори. Аналитот од интерес може да биде инхибитор или супстрат на овие процеси. Rechnitz го разви првиот ткивен сензор за определување на аминокиселината аргинин. Сензорите базирани на органели се направени со помош на мембрани, хлоропласти, митохондрии и микрозоми. Сепак, за овој тип на биосензори, стабилноста беше висока, но времето за откривање беше подолго, а специфичноста беше намалена.

Имуносензорите се воспоставени врз основа на фактот дека антителата имаат висок афинитет кон нивните соодветни антигени, т.е. антителата конкретно се врзуваат за патогени или токсини или комуницираат со компонентите на имунолошкиот систем на домаќинот.

Биосензорите на ДНК беа измислени за својството дека молекулата на нуклеинска киселина со една жичка може да ја препознае и да се поврзе со својата комплементарна нишка во примерокот. Интеракцијата се должи на формирањето на стабилни водородни врски помеѓу двете нишки на нуклеинска киселина.

Магнетни биосензори: минијатуризираните биосензори кои откриваат магнетни микро и нано-честички во микрофлуидните канали користејќи го ефектот на магнетоотпорност имаат голем потенцијал во однос на чувствителноста и големината.

Термички биосензори или калориметриски биосензори се развиваат со асимилирање на биосензорските материјали како што е споменато претходно во физички трансдуцер.

Пиезоелектричните биосензори се од два вида: микробаланс на кварцниот кристал и уред за површински акустични бранови. Тие се засноваат на мерење на промените во фреквенцијата на резонанца на пиезоелектричниот кристал поради промените на масата на кристалната структура.

Оптичките биосензори се состојат од извор на светлина, како и бројни оптички компоненти за генерирање светлосен зрак со специфични карактеристики и за поврзување на оваа светлина со модулаторско средство, модифицирана сензорна глава заедно со фотодетектор.
Зелениот флуоресцентен протеин и последователните варијанти на автофлуоресцентен протеин (AFP) и известувачите за генетска фузија помогнаа во развојот на генетски кодирани биосензори. лесен за инженерство, манипулирање и пренесување во ќелии. Биосензорот FRET со еден синџир е уште еден пример. Тие се состојат од пар AFP, кои се способни да пренесат енергија на флуоресцентна резонанца меѓу нив кога ќе се доближат една до друга. Може да се користат различни методи за регулирање на промените во сигналите за пренос на енергија со резонанца на Форстер (FRET) врз основа на интензитетот, односот или животниот век на AFP. Пептидните и протеинските биосензори лесно се произведуваат преку синтетичка хемија проследена со ензимско означување со синтетички флуорофори. Поради нивната независност од генетски кодирани AFP, тие лесно се користат за контрола на целната активност и претставуваат атрактивни алтернативи и имаат дополнителна предност што можат да го подобрат односот сигнал-шум и чувствителноста на одговорот преку воведување на хемиски средства за гаснење и фотоактивирани групи. .

5.2. Примени на биосензори

Биосензорите се применуваат во многу области. Имено прехранбената индустрија, медицинското поле, поморскиот сектор и.т.н., и тие обезбедуваат подобра стабилност и чувствителност во споредба со традиционалните методи.

5.2.1. Во преработката на храната, мониторингот, автентичноста на храната, квалитетот и безбедноста

Тешка дилема во преработувачката индустрија за храна е квалитетот и безбедноста, одржувањето на прехранбените производи и преработката. Традиционалните техники за изведување хемиски експерименти и спектроскопија имаат недостатоци поради човечкиот замор, се скапи и одземаат многу време. За прехранбената индустрија се пожелни алтернативи за автентикација и следење на храната со објективно и доследно мерење на прехранбените производи, на исплатлив начин. Така, развојот на биосензори како одговор на побарувачката за едноставни, во реално време, селективни и евтини техники е навидум погодно.

Ghasemi-Varnamkhasti et al.22 работеа на следење на стареењето на пивото користејќи ензимски биосензори, базирани на кобалт-фталоцијанин. Овие биосензори покажаа добра способност за следење на стареењето на пивото за време на складирањето.

Биосензорите се користат за откривање на патогени во храната. Присуството на Escherichia coli во зеленчукот е биоиндикатор за фекална контаминација во храната. E. coli е измерено со откривање на варијации во PH предизвикани од амонијак (произведен од конјугат на антитела на уреаза-E.coli) со помош на потенциометриски наизменични системи за биосензори. Миењето на зеленчукот како што се исечените моркови и зелената салата со пептонска вода ни ја обезбедува течната фаза. Потоа се одделува со спојување во апарат за сончање, за да се разграничат бактериските клетки од прехранбените производи.

Ензимските биосензори се користат и во млечната индустрија. Биосензор, базиран на јаглеродна електрода испечатена на екран, беше интегриран во проточна ќелија. Ензимите беа имобилизирани на електродите со проголтување во полимер со

фотовкрстено поврзување. Автоматизираниот биосензор базиран на проток може да ги измери трите органофосфатни пестициди во млекото.

Еден од популарните прехранбени адитиви кои интензивно се користат денес се засладувачите, кои негативно предизвикуваат несакани болести, вклучувајќи забен кариес, кардиоваскуларни болести, дебелина и дијабетес тип 2. Се верува дека вештачките засладувачи создаваат зависност и нè поттикнуваат несвесно да јадеме повеќе храна со висока енергија, што ненамерно предизвикува зголемување на телесната тежина. Така нивното откривање и квантификација се од примарна важност. Традиционалните методи за разликување на двата типа на засладувачи се: јонските хроматографски методи кои се комплицирани и макотрпни.
Поефикасен метод, кој комбинира липидни филмови со електрохемиски техники како биосензори за брз и чувствителен скрининг на засладувачите е истражен со повеќеканален биосензор, кој ги детектира електрофизиолошките активности на епителот на вкусот. Сигналите се анализираат со употреба на просторновременски техники, на MATLAB, каде што гликозата и сахарозата претставуваат природни шеќери додека сахаринот и цикламатот содржат вештачки засладувачи. Бидејќи сите засладувачи се посредувани од хетеродимерни рецептори поврзани со Г-протеин во клетките Тип-II во пупката, тие имаат многу места за врзување за да ги идентификуваат слатките стимули од различни структури соодветно. Студиите сугерираат два типа на слатки стимули: цикличен пат на аденозин монофосфат кој користи природни шеќери како што е сахарозата, а вториот е пат на инозитол трифосфат и диацилглицерол експлоатирани од вештачки засладувачи за целта на трансдукција на сигналот. Одговорот на вештачките засладувачи во голема мера зависи од остатоците во амино- терминалните домени на рецепторите за вкус како места за врзување на лигандот. Сигналните реакции на клетките на рецепторот за вкус кон природните и вештачките засладувачи се дискретни. Биосензорот на епителот на вкус даваше ретки сигнали со позитивни бранови форми кога се применуваше гликоза, додека сахарозата одржуваше сигнали со негативни шила. Епителот на вкус реагирал на вештачките засладувачи со поинтензивни сигнали, покажувајќи дека одговорите на вештачките засладувачи биле сосема различни од оние на природните шеќери и во временски и во фреквентен домен.

5.2.2. Во процесите на ферментација

Во индустриите за ферментација, безбедноста на процесот и квалитетот на производите се клучни. Така, ефективно следење на процесот на ферментација е императив за да се развијат, оптимизираат и одржуваат биолошките реактори со максимална ефикасност. Биосензорите може да се користат за следење на присуството на производи, биомаса, ензими, антитела или нус-производи од процесот за индиректно мерење на условите на процесот. Биосензорите прецизно ја контролираат индустријата за ферментација и даваат репродуктивни резултати поради нивната едноставна инструментација, огромна селективност, ниски цени и лесна автоматизација. Во денешно време, достапни се неколку видови на комерцијални биосензори: способни за откривање на биохемиски параметри (гликоза, лактат, лизин, етанол итн.) и се широко користени во Кина, заземајќи околу 90% од нејзиниот пазар.

Во процесот на ферментација, сахарификацијата беше следена со традиционалниот метод на Фехинг. Бидејќи овој метод вклучува титрирање на намалување на шеќерот, неговите резултати беа неточни. Сепак, од лансирањето на биосензорот за гликоза комерцијално во 1975 година, ферментациските индустрии имаат корист. Сега фабриките успешно користат биосензори за гликоза за да го контролираат производството во работилницата за сахарификација и ферментација и го користат биоензимскиот метод за производство на гликоза.

Биосензорите се користат и при пронаоѓање на јонска размена, каде што се врши детекција на промена на биохемискиот состав. На пример, глутаматниот биосензор се користел за да се спроведат експерименти за пронаоѓање на јонска размена на изоелектричен супернатант на глутамат. Процесот на ферментација е византиски процес со повеќе клучни променливи, од кои повеќето се макотрпни за мерење во реално време. Он-лајн мониторингот на критичните метаболити е од суштинско значење за да се олесни брзата оптимизација и да се контролираат биолошките процеси. Во изминатите години, биосензорите привлекоа големо внимание во он-лајн мониторингот во процесот на ферментација поради неговата едноставност и брз одговор.

5.2.3. Технологија на биосензор за одржлива безбедност на храната

Терминот квалитет на храната се однесува на изгледот, вкусот, мирисот, хранливата вредност, свежината, вкусот, текстурата и хемикалиите. Паметното следење на хранливите материи и брзото испитување на биолошките и хемиските загадувачи се од огромно значење, кога тоа доаѓа до квалитетот и безбедноста на храната. Науката за материјали, нанотехнологијата, електромеханичките и микрофлуидните системи се обидуваат да ја направат технологијата за сензори неизбежна за употреба на пазарот. Се прават напори за развој на контролни системи кои обезбедуваат квалитет и безбедност на храната и како последица на тоа, здравјето на луѓето.
Следењето на гликозата станува незаменливо бидејќи за време на складирањето содржината и составот на храната може да се променат. German ја проучувал електрохемијата на гликоза оксидаза имобилизирана на графитна прачка изменета со златни нано-честички (AuNPs), што ја подобрило нејзината чувствителност.

Глутаминот е гнидажот на клучните функции како што се: (сигнализирање, транспорт и претходник во биосинтезата на нуклеинските киселини, амино-шеќерите и протеините). Пациентите со недостаток на глутамин страдаат од патологии како што се малапсорптивни нарушувања и мора да се дополнат, за да се подобрат имунолошките функции, да се зачува цревната функционалност и да се намали бактериската транслокација- откривање во процес на ферментација.

Биосензорите се користат за да се согледа општата токсичност и специфичните токсични метали, поради нивната способност да реагираат само со опасните фракции на металните јони. Пестицидите претставуваат сериозна закана за животната средина. Најчестите пестициди кои се користат се органофосфати и карбамични видови инсектициди. Имуносензорите ја докажаа својата заслуга како чувствителна, брза агрохрана и мониторинг на животната средина. Биосензорите за AChE и бутирилхолинестераза се создадени за алдикарб, карбарил, параоксон, хлорпирифосметил итн. , Арсенот може да се мери со помош на биоанализи базирани на бактерии.

5.2.4. Во медицинското поле

Во дисциплината на медицинската наука, примената на биосензорите рапидно расте. Биосензорите за гликоза се широко користени во клиничките апликации за дијагноза

на дијабетес мелитус, што бара прецизна контрола на нивото на гликоза во крвта. Употребата на биосензори за гликоза во крвта дома опфаќа 85% од гигантскиот светски пазар.

Биосензорите се користат нашироко во медицинското поле за дијагностицирање на заразни болести. Во фаза на проучување е ветувачка технологија на биосензор за дијагноза на инфекции на уринарниот тракт (ИУТ) заедно со идентификација на патогенот и антимикробна чувствителност.

Важно е да се идентификуваат пациенти со срцева слабост во краен стадиум, склони кон негативни исходи за време на раната фаза на имплантација на апарат со помош на левата комора. Нов биосензор, базиран на хафниум оксид (HfO2), се користи за рана фаза на откривање на човечки интерлеукин (IL)-10.39 Интеракцијата помеѓу рекомбинантниот човечки IL-10 со соодветното моноклонално антитело се проучува за рана детекција на цитокин по имплантација на уредот. Моделите на флуоресценција и спектроскопијата на електромеханичката импеданса ја карактеризираат интеракцијата помеѓу антителото-антигенот и биопрепознавањето на протеинот се постигнува со флуоресцентна шема. Чен и сор. применет HfO2 како многу чувствителен транзистор со ефект на биополе. HfO2 биосензорот е функционализиран за таложење на антитела со детекција на човечки антиген со спектроскопија на електрохемиска импеданса.

Најголемата дилема со која се соочуваме денес е срцевата слабост со околу еден милион луѓе кои страдаат од неа. Техниките за откривање на кардиоваскуларни болести вклучуваат анализа на колона на имуноафинитет, флуорометриска и имуносорбентна анализа поврзана со ензимот. Овие се макотрпни, бараат квалификуван персонал и одземаат многу време. Биосензорите воспоставени на електрично мерење користат биохемиско молекуларно препознавање за саканата селективност со одреден биомаркер од интерес.

Различните други апликации на биосензори вклучуваат: квантитативно мерење на срцеви маркери во неразреден серум, анализа на микрофлуидна импеданса за контролирање на срцева хипертрофија индуцирана од ендотелин, низа имуносензори за клиничка имунофенотипизација на акутни леукемии, ефект на оксазаборолидините врз демобилизираните болести. Анализа на инхибитор на

хистон- деацилаза (HDAC) од пренос на енергија на резонанца, биочип за брзо и прецизно откривање на повеќе канцерогени маркери и неврохемиско откривање со дијамантски микроиглички електроди.

5.2.5. Флуоресцентни биосензори

Флуоресцентните биосензори се агенси за сликање, за употреба во рак и откривање лекови. Тие овозможија увид во улогата и регулирањето на ензимите на клеточно ниво. Биосензорите FRET базирани на GFP и генетски кодирани играат витална улога.

Флуоресцентните биосензори се мали скелиња на кои се монтирани една или неколку флуоресцентни сонди (ензимски, хемиски или генетски) преку рецептор. Рецепторот идентификува специфичен аналит или цел, а со тоа трансдуцира флуоресцентен сигнал кој може лесно да се открие и мери целта (серум, клеточни екстракти) во комплексен раствор. Тие се користат во испитувањето на генската експресија, локализацијата на протеините и конформацијата во полиња како што се: трансдукција на сигнал, транскрипција, клеточен циклус и апоптоза. Индикација за артритис, воспалителни болести, кардиоваскуларни и невродегенеративни заболувања, вирусна инфекција, рак и метастази се врши со помош на овие сензори.

Флуоресцентните биосензори се користат во програмите за откривање лекови за идентификација на лекови со пристапи за скрининг со висока пропусност, висока содржина, за постскрининг анализа на хитови и оптимизација на потенцијални клиенти. Овие се сметаат за моќни алатки за претклиничка евалуација и клиничка валидација на терапевтскиот потенцијал, биодистрибуција и фармакокинетика на лековите кандидати[47]. Флуоресцентните биосензори ефикасно се користат за рано откривање на биомаркери во молекуларната и клиничката дијагностика за следење на болестите, прогресија и одговор на третман/терапевтика, за интравитална слика и хирургија водена со слика.

Генетски кодиран FRET биосензор развиен за откривање на активноста на Bcr-Abl киназа беше користен на клетките на пациенти со рак за да се процени активноста на Bcr-Abl киназата и да се воспостави меѓусебна врска со статусот на болеста кај

[47] Giuliano K.A., Taylor D.L. Fluorescent-protein biosensors: new tools for drug discovery. *Trends Biotechnol.* 1998;16:135–140

хроничната миелоидна леукемија. Оваа сонда дополнително беше употребена за регулирање на одговорот на терапијата и за набљудување на појавата на клетки отпорни на лекови, овозможувајќи предвидување за алтернативни терапии.

5.2.6. Апликации за биосензор за биоодбрана

Биосензорите може да се користат за воени цели во моменти на биолошки напади. Главниот мотив на ваквите биосензори е чувствителното и селективно да се идентификуваат организмите кои претставуваат закана во практично реално време наречени биовојни агенси (BWAs)или бактерии (вегетативни и спори), токсини и вируси. Неколку обиди за уредување на такви биосензори се направени со помош на молекуларни техники кои се способни да ги препознаат хемиските маркери на BWA. Чувствителните системи засновани на нуклеинска киселина се почувствителни од методите за откривање базирани на антитела бидејќи обезбедуваат специфичност заснована на ген, без да се користат чекори за засилување за да се постигне чувствителност на детекција до бараните нивоа.

Хуман папилома вирусот ХПВ (двојно верижен ДНК вирус) е категоризиран во два вида: ХПВ 16 и 18 и е поврзан со инвазивен карцином на грлото на матката. ХПВ може брзо да се детектираат со помош на нов биосензор на нуклеинска киселина од пептид на акустични бранови на површината со протекување со двојни резонатори со две порти. Оваа сонда директно ја детектира геномната ДНК на ХПВ без засилување на полимеразна верижна реакција, а исто така може да се поврзе со целните ДНК секвенци со голема ефикасност и прецизност.

5.2.7. Во метаболичкото инженерство

Грижата за животната средина и недостатокот на одржливост на производите добиени од нафта постепено ја поттикнуваат потребата за развој на фабрики за микробни клетки за синтеза на хемикалии. Истражувачите го гледаат метаболичкото инженерство како овозможувачка технологија за одржлива биоекономија. Тие, исто така, замислија дека значителен дел од горивата, стоковите хемикалии и фармацевтските производи ќе се произведуваат од обновливи извори на суровина преку искористување на микроорганизми, наместо да се потпираат на рафинирање или екстракција на нафта. Високиот капацитет за генерирање разновидност бара и

ефикасни методи на скрининг за да се изберат индивидуите што го носат саканиот фенотип. Претходните методи беа аналитика за ензимска анализа базирана на спектроскопија, но тие имаа ограничена пропусност. За да се заобиколи оваа пречка, развиени се генетски кодирани биосензори кои овозможуваат in vivo мониторинг на клеточниот метаболизам кои нудат потенцијал за високо-пропусен скрининг и селекција со користење на сортирање на клетки активирани со флуоресценција (FACS) и преживување на клетките, соодветно.

Сензорите FRET сочинуваа двојка донаторски и акцепторски флуорофори и пептид што врзува лиганд беше сместен меѓу двата. Кога беше врзан со лиганд од интерес, пептидот претрпе конформациска промена, со што се промени FRET и не беа во можност да извршат низводно регулација на сигналот.

Факторите на транскрипција се природни сензорни протеини еволуирани за регулирање на генската експресија како одговор на промените во околината за скрининг со висока пропусна моќ. Тоа се постигнува со хакирање во системот за транскрипција на домаќинот и користење на промотор специфичен за синтетички услови за да се поттикне експресијата на известувачкиот ген. Овие покажуваат слаба ортогоналност и бучава во позадина.

Третата класа на биосензори се состои од рибопрекинувачи, регулаторниот домен на mRNA што може селективно да се врзе за лиганд и потоа да ја промени сопствената структура, следствено регулирајќи ја транскрипцијата на неговиот кодиран протеин. За разлика од биосензорите базирани на ТФ, тие се релативно побрзи бидејќи РНК е веќе транскрибирана, исто така, тие не се потпираат на интеракции протеин-протеин или протеин-метаболити. Во последните децении, рибозомите се интензивно конструирани во бактериски системи.

5.2.8. Биосензори во биологијата на растенијата

Револуционерните нови технологии во областа на секвенционирањето на ДНК и молекуларното сликање, доведоа до напредок во науката за растенијата. Традиционалните методи на масена спектроскопија за мерење на увид во клеточната и субклеточната локализација и мерењето на нивоата на јони и метаболити имаа невидена прецизност, но немаа клучни информации за локацијата и динамиката на

ензимските супстрати, рецептори и транспортери. Сепак, оваа информација може лесно да се прислушува со помош на биосензори. За да измериме динамичен процес под физиолошки услови, треба да направиме тактики за да го визуелизираме вистинскиот процес, на пример, конверзија на еден метаболит во друг или активирање на сигнални настани. Оваа визуелизација може да се направи со сензори кои реагираат динамично.

Лабораторијата на Роџер Циен беше првата која разви протеински прототип сензори за мерење на активноста на каспаза и контрола на нивото на калциум во живите клетки. Овие сензори беа базирани на FRET (FRET) помеѓу две спектрални варијанти на GFP. In vivo примената на биосензорите вклучува сликање со висока временска резолуција на осцилации на калциум со помош на камелеонски сензори.

Биосензорите може да се користат за да се идентификуваат компонентите што недостасуваат релевантни за метаболизмот, регулацијата или транспортот на аналитот. FRET сензорот за сахароза, одговорен за идентификација на протеините, врши транспортен чекор во вчитување на флоем-излив на сахароза од мезофилот. Анализите базирани на флуориметри со FRET сензори за шеќер успешно ги препознаваат транспортерите на шеќер кои можат да функционираат веднаш по изложувањето на гладните клетки на квасец на гликоза. Слични анализи идентификуваат гени кои влијаат на цитосолната или вакуоларната PH вредност во квасецот, и оправдуваат дека биосензорите можат да бидат применети во генетски екрани под услов да се достапни технологии за сликање со соодветна пропусната моќ.

5.3. Иден опсег

Биосензорите базирани на клетки и ткива се состојат од генетски конструирани протеини кои се внесуваат во клетките ex vivo или in vivo. Тие му овозможуваат на истражувачот да ги почувствува нивоата на хормони, лекови или токсини, континуирано и неинвазивно, користејќи биофотоника или други физички принципи. Обемот во овој поглед би можел да има вредност во истражувањето за стареење.

Биосензорите се користат за морски апликации за откривање на еутрофикација користејќи сензори за нитрити и нитрати. Развиени се различни сензори базирани на детекција на хибридизација на нуклеинска киселина за детекција на организам. „Еколошки процесор за примероци“ е во процес на Истражувачкиот институт за аквариум во Монтерej Бej, чија цел е автоматизирано откривање на токсични алги на самото место од пристаништа со помош на рибозомални РНК сонди е ветувачки развој на ова поле. Исто така, откривањето на загадувачи, тешки метали и пестициди преку биосензори е една од главните цели.

Примената на наноматеријалите во биосензорите обезбедуваат можности за градење на нова генерација технологии на биосензори. Наноматеријалите ги подобруваат механичките, електрохемиските, оптичките и магнетните својства на биосензорите и се развиваат кон биосензори со една молекула со низи на биосензори со висока пропусна моќ. Биолошките молекули поседуваат посебни структури и функции, а определувањето како целосно да се искористи структурата и функцијата на наноматеријалите и биомолекулите за да се изработат единечни мултифункционални нанокомпозити, нанофилмови и наноелектроди, сè уште е голем предизвик. Обработката, карактеризацијата, проблемите со интерфејсот, достапноста на висококвалитетни наноматеријали, приспособувањето на наноматеријалите и механизмите што го регулираат однесувањето на овие нано-композити на површината на електродите се исто така големи предизвици за сегашните постоечки техники. Начините за подобрување на сигналот до односот на шум од 116, како да се подобри трансдукцијата и засилувањето на сигналите, се исто така главни пречки.

Идната работа треба да се фокусира на разјаснување на механизмот на интеракција помеѓу наноматеријалите и биомолекулите на површината на електродите или нанофилмовите и користење на нови својства за да се изработи нова генерација на биосензори. Како и да е, биосензорите базирани на наноматеријали покажуваат големи атрактивни изгледи, кои ќе бидат широко применети во клиничката дијагноза, анализата на храната, контролата на процесите и мониторингот на животната средина во блиска иднина.

II. МЕТОДОЛогија НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

6. Сензори за препознавање емоции

Брзиот развој на сензорите[48ii] и информатичката технологија им овозможи на машините да ги препознаат и анализираат човечките емоции. Препознавањето емоции е важна истражувачка насока во различни области. Човечките емоции имаат многу манифестации. Затоа, препознавањето емоции може да се реализира со анализа на изразите на лицето, говорот, однесувањето или физиолошките сигнали. Овие сигнали се собираат од различни сензори. Правилното препознавање на човечките емоции може да го промовира развојот на афективното пресметување.

6.1. Емоција

Емоцијата е сеопфатна манифестација на физиолошките и психолошките состојби на луѓето. Препознавањето на емоции беше систематски предложено во 1990-тите. Со брзиот развој на науката и технологијата, препознавањето на емоции е широко користено во различни области, како што се: интеракциите човек-компјутер (HCI) , медицинското здравје, интернет- образованието, безбедносното следење, интелигентен кокпит, психолошка анализа и индустријата за забава.

Препознавањето емоции може да се реализира преку различни методи за откривање и различни сензори. Сензорите се комбинираат со напредни алгоритамски модели и богати податоци за да формираат системи за интеракција човек-компјутер или

[48] https://encyclopedia.pub/entry/42080#:~:text=The%20sensors%20used%20for%20emotion,different%20applications%20in%20emotion%20recognition.

роботски системи. Во областа на медицинската и здравствената заштита, препознавањето емоции може да се користи за откривање на психолошката состојба на пациентот или адјувантен третман и подобрување на медицинската ефикасност и медицинското искуство. На полето на интернет- образованието, препознавањето емоции може да се користи за да се открие статусот на учење и прифаќањето на знаењето на учениците и да се соработува со релевантни потсетници за да се подобри ефикасноста на учењето. Во областа на криминалното испрашување, препознавањето емоции може да се користи за откривање на лаги (тест за автентичност). На полето на интелигентни кокпити, може да се користи за откривање на поспаност и ментална состојба на возачот за да се подобри безбедноста при возење. Во полето на психоанализата, може да се користи за да помогне да се анализира дали некое лице има аутизам. Оваа техника може да се примени и за препознавање на емоциите на постарите, доенчињата и оние со посебни болести кои не можат јасно да ги изразат своите емоции[49].

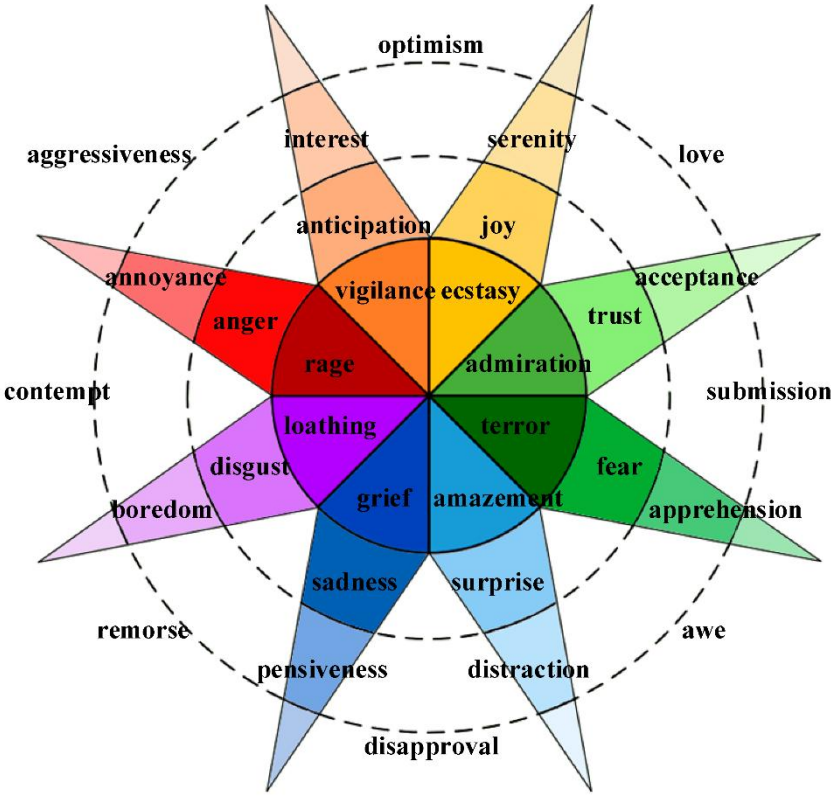
6.2. Модели на емоции

Дефиницијата за емоции е основа на препознавањето на емоциите. Основниот концепт на емоции беше предложен од Екман во 1970-тите. Во моментов, постојат два мејнстрим модели на емоции: модел на дискретни емоции и модел на димензионални емоции.

Дарвиновата еволуција смета дека емоциите се примитивни или фундаментални. Се смета дека емоцијата како форма одговара на дискретни и елементарни одговори или тенденции на дејствување. Моделот на дискретни емоции ги дели човечките емоции во ограничени категории, главно вклучувајќи: среќа, тага, страв, гнев, одвратност, изненадување итн. Според различни теории, постојат две до осум основни емоци. Сепак, овие теории за дискретни модели на емоции имаат одредени заеднички карактеристики. Тие веруваат дека емоциите се: ментални и физиолошки процеси; предизвикани од свесноста за развојните настани, поттикнувачки фактори за промени во внатрешните и надворешните сигнали на телото; поврзани со фиксен збир на дејства или тенденции. Екман предложи седум карактеристики за разликување на различни основни емоции и емоционални феномени: автономна евалуација имаат специфични претходни настани присутен и кај други примати, брз

[49] Bal, E.; Harden, E.; Lamb, D.; Van Hecke, A.V.; Denver, J.W.; Porges, S.W. Emotion recognition in children with autism spectrum disorders: Relations to eye gaze and autonomic state. J. Autism Dev. Disord. 2010, 40, 358–370.

почеток, кратко траење, несвесно или неволно појавување кое се рефлектира во уникатни физиолошки системи како што се нервниот систем и изразите на лицето. Р.Плучик предложил осум основни емоции и ги разликувал според интензитетот, формирајќи го моделот на тркалото на Плучик. Тоа е добро познат модел на дискретни емоции.

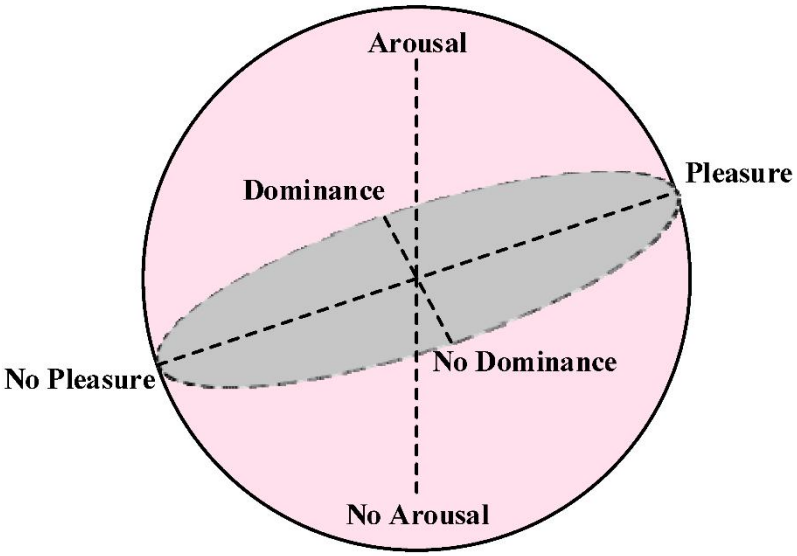


Слика 5. Модел на тркало на Piutchik.2.2. Димензионален модел на емоции.

Моделите со димензионални емоции ги гледаат емоциите како комбинации на вектори во пофундаментален димензионален простор. Ова овозможува сложените емоции да се истражуваат и измерат во помалку димензии. Основните емоции генерално се изразуваат во дводимензионален или тридимензионален простор. Димензионалниот модел на емоции во дводимензионалниот простор обично е модел на возбуда-валентност. Валентноста ја одразува позитивната или негативната евалуација на емоцијата и степенот на задоволство што го чувствува учесникот. Возбудувањето го одразува интензитетот или активирањето на некоја емоција во телото. Нивото на возбуда ја одразува волјата на поединецот, а ниското возбудување значи помалку енергија. Сепак, димензионалните модели на емоции во две димензии не беа во можност успешно да ги разликуваат основните емоции со ист степен на конзистентност и валентност. На пример, и гневот и стравот имаат висока возбуда и

ниска валентност. Затоа, треба да се воведе нова димензија за да се разликуваат овие емоции.

Најпознатиот тродимензионален модел на емоции е моделот на задоволство, возбуда и доминација (PAD) предложен од Мехрабијан и Расел преку проучување на методите за психологија на животната средина и моделот чувство-размислување-дејствување . како што е прикажано на слика 6.



Слика 6. 3D модел на емоции PAD.

Доминацијата претставува контрола или позиција и покажува дали одредена емоција е покорна. Вреди да се напомене дека димензионалниот модел на емоции може точно да ја идентификува основната емоција. Меѓутоа, за некои сложени емоции, димензионалниот модел на емоции ќе изгуби некои детали.

6.3. Сензори за препознавање емоции

Сензорите што се користат за препознавање емоции главно вклучуваат визуелни сензори, аудио- сензори, радарски сензори и други сензори за физиолошки сигнали, кои можат да собираат сигнали од различни димензии и да постигнат емоционална анализа преку некои алгоритми. Различни сензори имаат различни апликации во препознавањето емоции.

6.3.1. Визуелен сензор

Препознавањето емоции врз основа на визуелни сензори е еден од најчестите методи за препознавање емоции. Ги има предностите на ниската цена и едноставното

собирање податоци. Во моментов, визуелните сензори главно се користат за препознавање на изрази на лицето (FER) за откривање на емоции или технологија за далечинско фотоплетизмографија (rPPG) за откривање на отчукувањата на срцето . Точноста на овие методи сериозно опаѓа како што се намалува интензитетот на светлината.

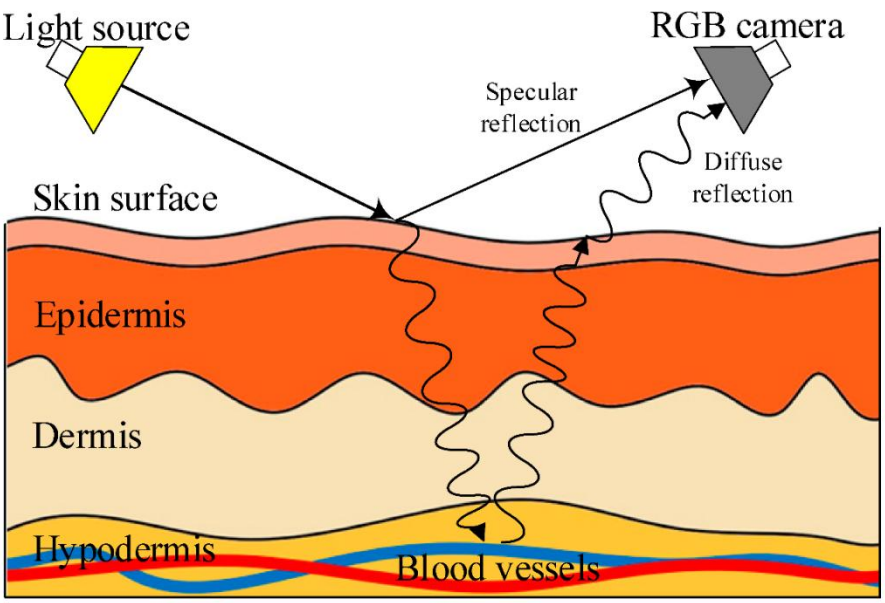
Процесот на препознавање на изразот на лицето е прикажан на слика 7. Изразите на лицето можат интуитивно да ги одразуваат емоциите на луѓето. Тешко е за машините да ги доловат деталите на изразите како луѓето. Изразите на лицето лесно се сокриваат, што доведува до грешки во препознавањето на емоциите . На пример, во некои социјални активности, обично учтиво се насмевнуваме иако не сме расположени.



Слика 7. Процес на препознавање на изрази на лицето.

Различни поединци имаат различни бои на кожата, изглед и карактеристики на лицето, што претставува предизвик за точноста на класификацијата. Карактеристиките на лицето на истата емоција можат да бидат различни, а малите промени во различните емоции на истата индивидуа не се многу очигледни. Затоа, постои предизвик за класификација на големо меѓукласно растојание и мало меѓукласно растојание за откривање емоции преку препознавање на изразот на лицето од камерата. Исто така, тешко е ефективно да се препознаат емоциите кога лицето е оклудирано (носење маска) или од различни агли на снимање.

Фотоплетизмографија (PPG) е оптичка технологија за неинвазивно откривање на различни витални знаци, која за првпат беше предложена во 1930-тите. PPG е широко користен во откривањето на физиолошки сигнали во лични преносни уреди (паметни нараквици, паметни часовници, итн.). Успешната примена на PPG доведе до брз развој на далечинска фотоплетизмографија (rPPG). RGB камера со повеќе бранови должини се користи од технологијата rPPG за да се идентификуваат малите варијации во бојата на кожата на човечкото лице предизвикани од промените во волуменот на крвта за време на отчукувањата на срцето, како што е прикажано на слика 8.



Слика 8. Шематски дијаграм на rPPG технологијата.

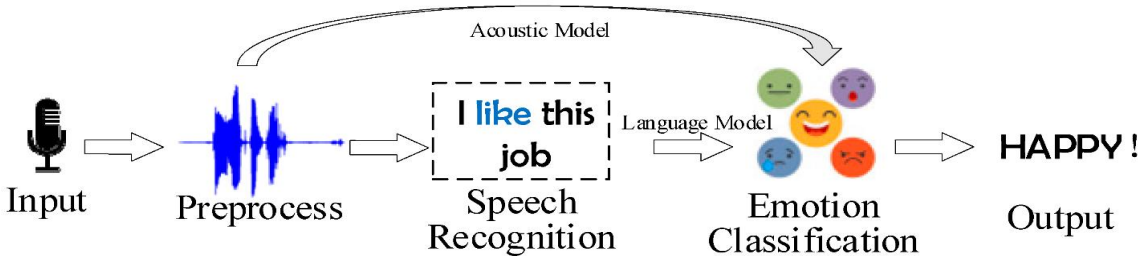
Технологијата rPPG може да се користи за да се добие степенот на периферна васкуларна констрикција и да се анализираат емоциите на учесникот. Надворешната вазоконстрикција се смета за одбранбен физиолошки одговор. Кога луѓето се во состојба на болка, глад, страв или гнев, ќе се засили стегањето на надворешните крвни садови. Спротивно на тоа, во мирна или опуштена состојба, овој одговор ќе се намали.

Со подобрувањето на нивото на хардвер и алгоритам, технологијата rPPG може да реализира и далечинско бесконтактно следење и проценка на отчукувањата на срцето, респираторната стапка, крвниот притисок или други сигнали. Препознавањето на емоциите се врши по анализа на голема количина на податоци од следењето. Овие сигнали можат да ги класифицираат емоциите во неколку видови и интензитети. Постојат одредени грешки во препознавањето на повеќе видови на емоции. Неопходно е да се комбинираат други физиолошки информации за да се подобри стапката на точност на препознавање на емоции.

6.3.2. Аудио сензор

Јазикот е една од најважните компоненти на човечката култура. Луѓето можат да се изразат или да комуницираат со другите преку јазикот. Препознавањето говор го промовираше развојот на препознавање на говорни емоции (SER). Човечкиот говор содржи богати информации кои можат да се користат за препознавање емоции . Разбирањето на емоциите во информациите е од суштинско значење за вештачката

интелигенција да се вклучи во ефективен дијалог. SER може да се користи за дијалог центар за повици, системи за автоматски одговор, дијагноза на аутизам итн. SER е заеднички комплетиран со екстракција на акустична карактеристика и јазична ознака. Процесот на SER е прикажан на слика 9.



Слика 9. Процесот на SER.

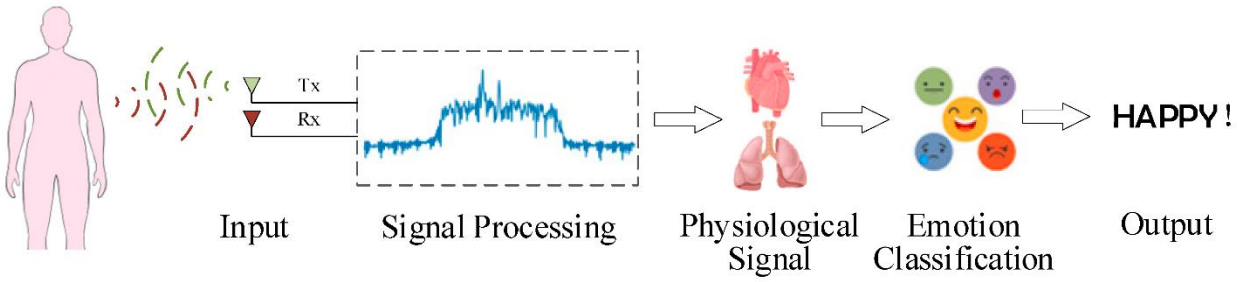
Во фазата на претпроцесирање, влезниот сигнал се подобрува во сегменти по намалувањето на шумот, а потоа се врши екстракција и класификација на карактеристиките. Јазичниот модел може да идентификува емоционални изрази со специфични семантички придонеси. Акустичниот модел може да разликува различни емоции содржани во иста реченица со анализа на карактеристиките на прозодија или спектрален . Комбинирањето на овие два модели може да ја подобри точноста на SER.

Разбирањето на емоциите во говорот е сложен процес. Различните стилови на зборување на различни луѓе ќе доведат до акустична варијабилност, што директно ќе влијае на означување и извлекување на карактеристиките на говорот. Истата реченица може да содржи различни емоции , а некои специфични емоционални разлики често зависат од локалната култура или животната средина на говорникот, што исто така претставува предизвици за SER.

6.3.3. Радарски сензор

Различните емоции ќе предизвикаат низа физиолошки одговори, како што се промените во респираторната стапка, отчукувањата на срцето, мозочните бранови , крвниот притисок итн. На пример, возбудата предизвикана од среќата, лутината или анксиозноста може да доведат до зголемен пулс. Позитивните емоции може да ја зголемат стапката на дишење, а депресивните емоции може да имаат тенденција да го инхибираат дишењето. Респираторната стапка, исто така, влијае на варијабилноста на срцевиот ритам (HRV), која се намалува при издишување и се

зголемува при вдишување. Во моментов, радарската технологија е широко користена во откривањето на далечински витални знаци и безжичното сензорирање. Радарските сензори можат да го користат ехо сигналот на целта за да го анализираат микродвижењето на градниот кош предизвикано од дишењето и отчукувањата на срцето. Може да реализира далечинско стекнување на овие физиолошки сигнали. Целокупниот процес на препознавање емоции врз основа на радарски сензор е прикажан на лика 6.



Слика 10. Процес на препознавање емоции врз основа на радарски сензор.

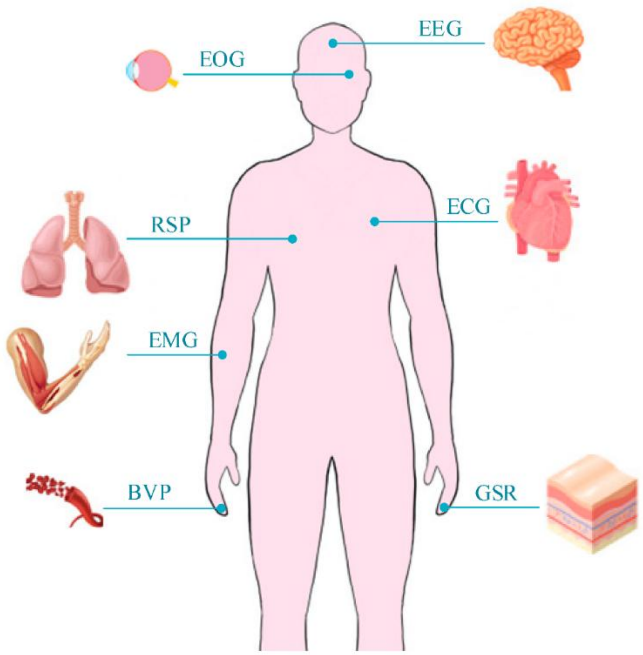
Во споредба со визуелните сензори, препознавањето емоции врз основа на радарските сензори е неограничено со интензитетот на светлината. Меѓутоа, во реални средини, радарските ехо сигнали се под влијание на бучавата, особено за радијалното доплер движење блиску или подалеку од радарот, што влијае на точноста на анализата на чувствата.

6.3.4. Други физиолошки сензори

Се покажало дека емоциите се биолошки уште од античко време. Се верува дека прекумерните емоции имаат одредени ефекти врз функционирањето на виталните органи. Аристотел верувал дека влијанието на емоциите врз физиологијата се рефлектира во промените во физиолошките состојби, како што се забрзаното чукање на срцето, топлината на телото или губењето на апетитот. Вилијам Џејмс прв ја предложи теоријата на физиологијата на емоциите. Тој верувал дека надворешните дразби ќе предизвикаат активност во автономниот нервен систем и ќе создадат физиолошки одговор во мозокот. На пример, кога се чувствуваме среќни, се смееме. Кога се чувствуваме исплашени ни се креваат влакната, кога се чувствуваме тажни, плачеме.

Човечката емоција е спонтана ментална состојба, која се рефлектира во физиолошките промени на човечкото тело и значително влијае на нашата свест.

Многу други физиолошки сигнали во човечкото тело, како што се електроенцефалограм (ЕЕГ), електрокардиограм (ЕКГ), електромиограм (ЕМГ), галвански одговор на кожата (GSR), волумен на крв пулс (BVP) и електроокулографија (ЕОГ) , како што е прикажано на слика 11.



Слика 11. Физиолошки сигнали откриени од други физиолошки сензори.

ЕЕГ ја мери електричната сигнална активност на мозокот со поставување на електроди на површината на кожата на главата. Многу студии покажаа дека префронталниот кортекс, темпоралниот лобус и предниот цингуларен гирус на мозокот се поврзани со контролата на емоциите. Нивното ниво на активност предизвикува емоции како што се: анксиозност, раздразливост, депресија, грижа и незадоволство. .

ЕКГ е метод за електрично следење на површината на кожата што го детектира чукањето на срцето контролирано од електричните сигнали на телото. Срцевиот ритам и варијабилноста на срцевиот ритам добиени преку последователна анализа се широко користени во афективното пресметување. Срцевиот ритам и варијабилноста на срцевиот ритам се контролирани од симпатичкиот нервен систем и парасимпатичкиот нервен систем. Симпатичкиот нервен систем може да го забрза отчукувањата на срцето, што се рефлектира со поголем психолошки стрес и активирање. Парасимпатичкиот нервен систем е одговорен за намалување на отчукувањата на срцето на нормални нивоа, ставајќи го телото во порелаксирана состојба.

ЕМГ го мери степенот на активирање на мускулите со собирање на разликата во напонот генерирана за време на мускулната контракција. Тековната технологија за мерење на ЕМГ сигнал може да се подели на два вида. Првиот е да ги проучува изразите на лицето со мерење на мускулите на лицето. Втората е да се постават електроди на телото за да се препознаат емоционалните движења.

GSR е уште еден сигнал кој најчесто се користи за препознавање емоции. Човечката кожа е нормално изолатор. Кога потните жлезди лачат пот, електричната спроводливост на кожата ќе се промени. Затоа, GSR може да ја одрази ситуацијата на потење на една личност. ГСР обично се мери на дланките или стапалата, каде што се смета дека потните жлезди најдобро ги рефлектираат промените во емоциите. Кога некое лице е во анксиозно или напнато расположение, потните жлезди обично лачат повеќе пот, што предизвикува поголема промена на струјата.

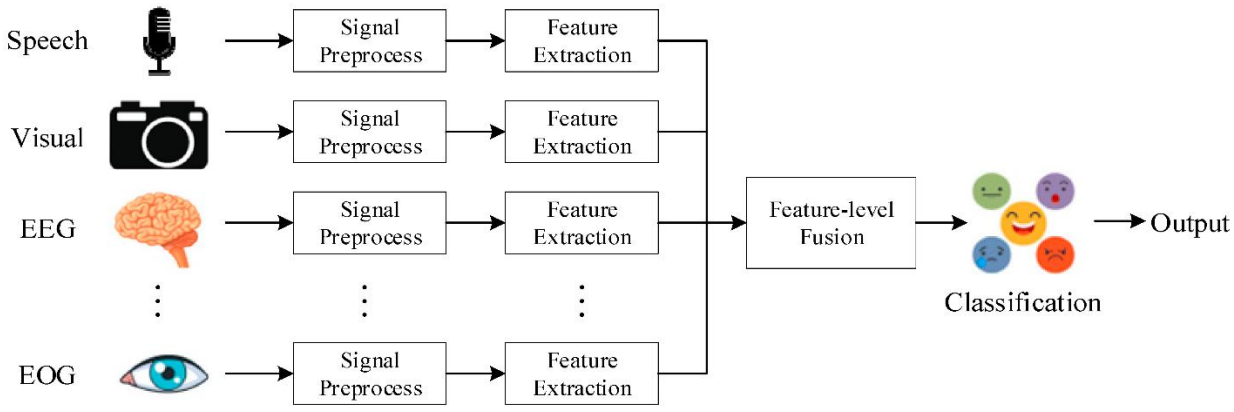
Поврзани физиолошки сигнали, исто така, вклучуваат BVP, EOG, итн. Сите овие сигнали се менуваат со емоционалните промени и тие не се предмет на човечка свесна контрола. Затоа, овие сигнали може да се мерат со различни физиолошки сензори за да се постигне целта за препознавање емоции. Со користење на овие физиолошки сензори може прецизно и брзо да се добијат вистински човечки физиолошки сигнали. Сепак, физиолошките сензори освен визуелните, аудио и радарските сензори обично треба да ја допрат кожата или да носат соодветна опрема за да извлечат физиолошки сигнали, што ќе влијае на секојдневниот комфор на луѓето (повеќето луѓе нема да го прифатат овој метод на следење). Контактните сензори се ограничени по тежина и големина. Овие контактни уреди, исто така, може да предизвикаат напнатост и вознемиреност кај луѓето, што ќе влијае на точноста на препознавањето на емоциите.

6.3.5. Фузија со повеќе сензори

Постојат одредени недостатоци во едномодалното препознавање на емоциите и обично не е во состојба точно да ги идентификува сложените емоции. Методот на мултимодално препознавање емоции се однесува на употребата на сигнали добиени од повеќе сензори за да се надополнуваат едни со други и да се добијат посигурни резултати од препознавање. Мултимодалните пристапи можат да го промовираат развојот на препознавање на емоции. Мултимодалното препознавање на емоции често може да постигне најдобри перформанси за препознавање, но комплексноста на пресметките ќе се зголеми поради прекумерниот број на канали. Постојат повисоки барања за собирање мултимодални збирки на податоци. Мултимодалното препознавање на емоции има различни стратегии за фузија, кои главно може да се поделат на фузија на ниво на пиксели, фузија на ниво на карактеристика и фузија на ниво на одлука.

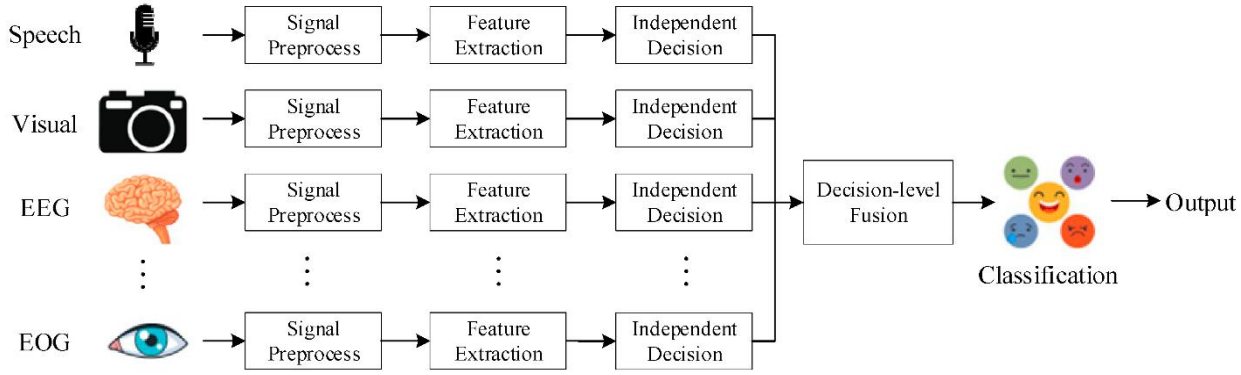
Фузија на ниво на пиксели се однесува на директно спојување на оригиналните податоци, семантичките информации и бучавата на сигналот ќе бидат надредени, што ќе влијае на ефектот на класификација по фузијата. Времето за обработка се губи кога има премногу непотребни информации.

Процесот на фузија на ниво на карактеристика е прикажан на слика 12. Спојувањето на ниво на карактеристика се јавува во раните фази на процесот на фузија. Извлечете карактеристики од различни влезни сигнали и комбинирајте ги во високодимензионални вектори на карактеристики. Конечно, излези го резултатот преку класификатор. Фузијата на ниво на функции ги задржува повеќето важни информации, може во голема мера да ја намали потрошувачката на компјутери. Меѓутоа, кога количината на податоци е мала или недостасуваат некои детали, конечната стапка на точност ќе се намали.



Слика 12. Фузија на ниво на карактеристика.

Процесот на фузија на ниво на одлука е прикажан на слика 13. Фузија на ниво на одлука се однесува на спојување на независни одлуки на секој дел по донесување независни одлуки врз основа на сигнали собрани од различни сензори.



Слика 13. Фузија на ниво на одлука.

Предноста на фузијата на ниво на одлука е тоа што методите за независна екстракција и класификација на карактеристики може да се постават според различни сигнали. Има помали барања за интегритетот на мултимодалните податоци. Фузијата на ниво на одлука има поголема робусност и подобри резултати од класификација.

III. АНАЛИЗА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО и дискусија

7. ПРАКТИЧНО ИСТРАЖУВАЊЕ СО КОРИСТЕЊЕ НА БИОСЕНЗОРСКИ СИСТЕМ ЗА СЛЕДЕЊЕ НА ОЧИ

Истражувањето го реализирав во лабораторија за биометриски истражувања (невромаркетинг и невропсихологија) на Меѓународен Славјански Универзитет во

Свети Николе, во период од 05.05.2024 до 20.05.2024 година, под менторство на проф. д-р Сашо Манасов. Во истражувањето користев биосензорски систем за следење на очи (хардвер и софтвер): мерење на активноста на очи на испитаници при опсервација на одредени визуелни стимули кои се прикажани на компјутерски екран, за да се процени визуелното внимание (на кои сегменти од стимулот испитаниците најмногу обрнуваат внимание).

Постои докажана научна поврзаност помеѓу движењето на очите и човековото спознание (когниција). Затоа денес во научни истражувања, следењето на очите се користи како експериментален метод за да се добие увид во работата на умот. Со следење на очите може да се вклучиме во потсвесна ментална обработка (процесирање) – да добиеме увид во индивидуални и групни преференции на испитаници преку набљудување кои елементи од стимулот тие ги доживуваат.

Следењето на очите овозможува да се измери визуелното внимание на испитаници, метрика која објективно следи **КАДЕ**, **КОГА** и **ШТО** гледаат тие. За таа цел во истражувањето се анализираат и прикажуваат следните метрики добиени од биосензорскиот систем за следење на очи:

- **Топлински мапи** (**heat maps**) со кои се открива дистрибуција на визуелно внимание и се одличен метод да се визуелизира кои елементи на стимулот привлекуваат внимание.
- **Области на интерес** (**Areas of interest – AOI**) кои претставуваат кориснички дефинирани бафер зони (подрегиони) на прикажан стимул: се користат при проценка на перформанси на две или повеќе специфични области на ист видео- стимул и споредувања на група испитаници, услови или различни карактеристики. Исто така го квантифицира количеството на време кое испитаниците го поминале гледајќи одредена област од интерес (dwell time – time spent). Поголемо визуелно внимание во одредена област на стимулот јасно укажува на **повисоко ниво на интерес** (**привлечност**).
- **Низи на фиксации (fixation sequences)** со кои се покажува: позиција на фиксација – каде гледаат испитаниците и информации за време, колку време испитаниците поминуваат во гледање определен сегмент од

стимулот. Исто така фиксациите даваат увид во редослед на визуелно внимание, каде испитаниците погледнале прв, втор, третпат , и.т.н.

- **Дилатација (проширување и собирање на зеница).** Проширувањето на зеницата е пропорционално на **ЈАЧИНАТА НА ВОЗБУДАТА – мерка за емоционална возбуда**.
- **Фреквенција на трепкање:** Ниска фреквенција е поврзана со повисоко ниво на концентрација, а висока фреквенција на трепкање е индикативна за поспаност, пониско ниво на фокус и пониско ниво на концентрација.

Во ова истражување користев два видео стимули:

- Каква храна најмногу сакаат да конзумираат студентите?
- Какви пијалоци најмногу им се допаѓаат?

Преку ова истражување сакам да истражам каква храна најмногу сакаат да конзумираат студентите. Притоа користев два метода на истражување:

- Биосензорско истражување (потсвесно) со користење биосензорски систем за следење на очи ;
- Анкетно истражувањее (рационално размислување): Испитаниците заокружуваат која храна најмногу им се допаѓа.

Анкетното истражување може да има пристрасност во процесот на одлучување, додека биосензорското истражување нема пристрасност: очите го покажуваат она што го мисли мозокот на испитаниците.

Во истражувањето ги користев следните стимули (стимулите беа прикажани на компјутерски екран и секој испитаник го гледаше секој стимул во траење од 10 секунди).



Слика. **Стимул 1** – избор на храна



Слика. **Стимул 2** – избор на пијалоци

Опис на истражувањето: Денес живееме во свет преполн со токсини: загаден воздух и вода, современа брза храна преполна со хемикалии – хормони, конзерванси, засладувачи и многу други. Најмногу токсини во нашиот организам внесуваме со храната.

Последните години во научниот свет се реализираат бројни истражувања за тоа како исхраната влијае за целокупното здравје на луѓето. Исто така, главен истражувачки акцент се става на младата популација – иднина на човештвото.

Науката недвосмислено потврдува како правилната исхрана влијае на целокупното здравје на најмладите – нивното ментално и физичко здравје. Еден од најважните сегменти на правилна исхрана е: к**онсумирање свежо овошје во определен период од денот** (правилен начин на негово консумирање).

Природното **свежо овошје** делува како **ИНФУЗИЈА – полно е со витамини, минерали, растителни влакна**. Делува брзо и **не се задржува** во цревата. Се апсорбира во цревата и хранливите состојки брзо одат во крвта која ги носи до сите клетки на човечкиот организам. Овошјето содржи прост шеќер (гликоза) која ја користат клетките за да создадат енергија за процесите на метаболизам.

Анализа на резултати од биосензорско следење на очи: поединечни и збирни анализи

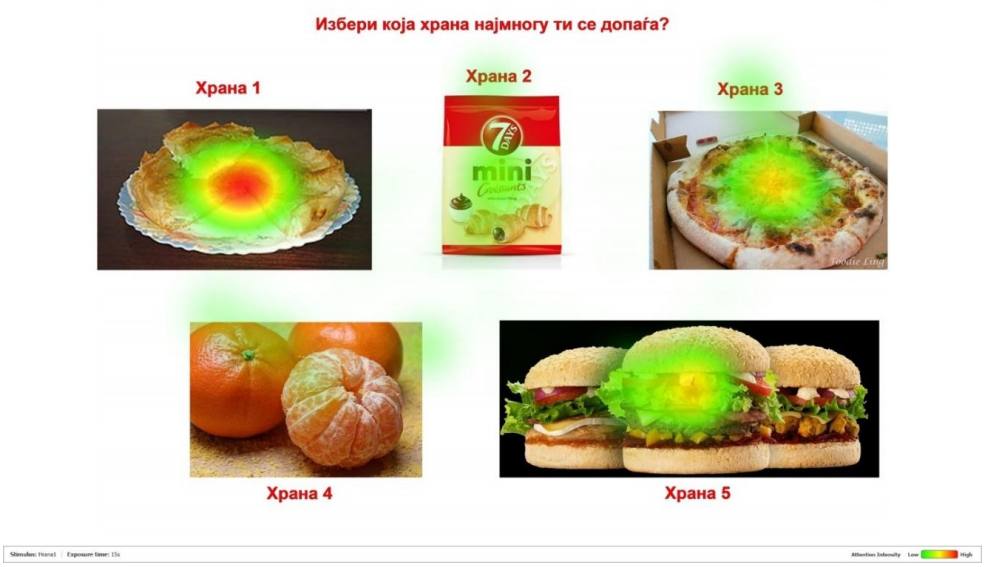
Топлински мапи: **Поединечни анализи**

Топлинските мапи визуелно покажуваат поединечни (од секој испитаник посебно) агрегации кои откриваат дистрибуција на визуелно внимание.

- **Црвени области**: Покажуваат (сугерираат) на голем број на точки на поглед – поголемо ниво на интерес.
- **Жолти и зелени области**: Покажуваат области од стимулот со помалку точки на поглед, што значи дека испитаникот имал помало ниво на интерес.
- **Необоени области**: Тоа се области од презентираниот стимул кои не биле посетени од испитаникот, кои не биле од интерес и каде нема точки на поглед.

На слика 1 е прикажана визуелна топлинска мапа за испитаник 1, кој е под опсервација на стимул 1. Се забележува дека овој испитаник најголем интерес покажа за храна 1, помал интерес за храна 3 и храна 4, а речиси никакоов интерес не покажа за храна 4 (свежо овошје). При пополнување на анкетен прашалник, овој испитаник ја заокружи храна 1. Ова покажува дека не постои дискрепанца

(разидување) помеѓу двата вида на истражување: биосензорско (потсвесно) и анкетно (рационално размислување). Ова значи дека и без анкетирање (само со биосензорско следење на очи) може да се определи каква храна сака да консумира испитаникот (од понудени пет вида храна). Неговите очи недвосмислено покажуваат што размислува неговиот мозок.



Слика 1. Топлинска мапа, стимул 1, испитаник 1

На слика 2 е прикажана топлинска мапа, за истиот испитаник 1, во spotlight стил, каде интензитетот на осветленост е пропорционален на нивото на интерес (фокусирано внимание).

На слика 3 е прикажана топлинска мапа, за истиот испитаник 1, во shadow стил, каде површината на сенката е пропорционален на нивото на интерес (фокусирано внимание)



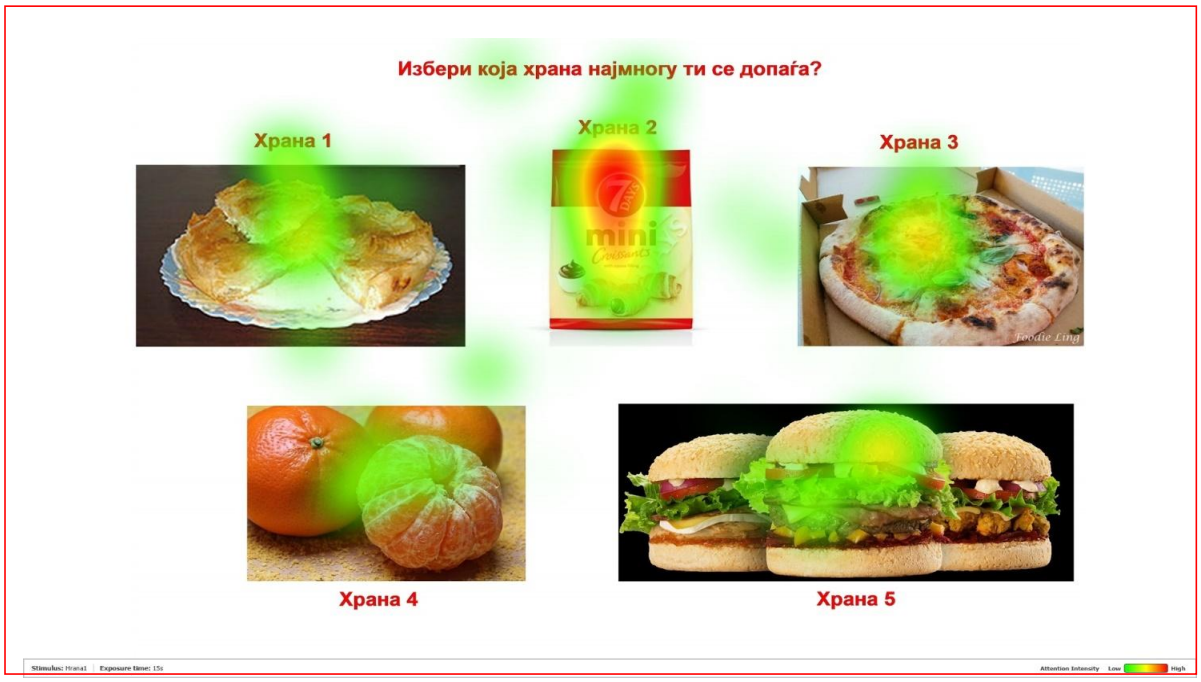
Слика 2. Топлинска мапа (spotlight style), стимул 1, испитаник 1



Слика 3. Топлинска мапа (shadow style), стимул 1, испитаник 1

На слика 4 е прикажана топлинска мапа за испитаник 4, кој е под опсервација на стимул 1. Се забележува дека овој испитаник најголем интерес покажа за храна 2, а значително помал интерес за другите понудени видови храна. При пополнување на анкетен прашалник, овој испитаник ја заокружи храна 2. Ова покажува дека не

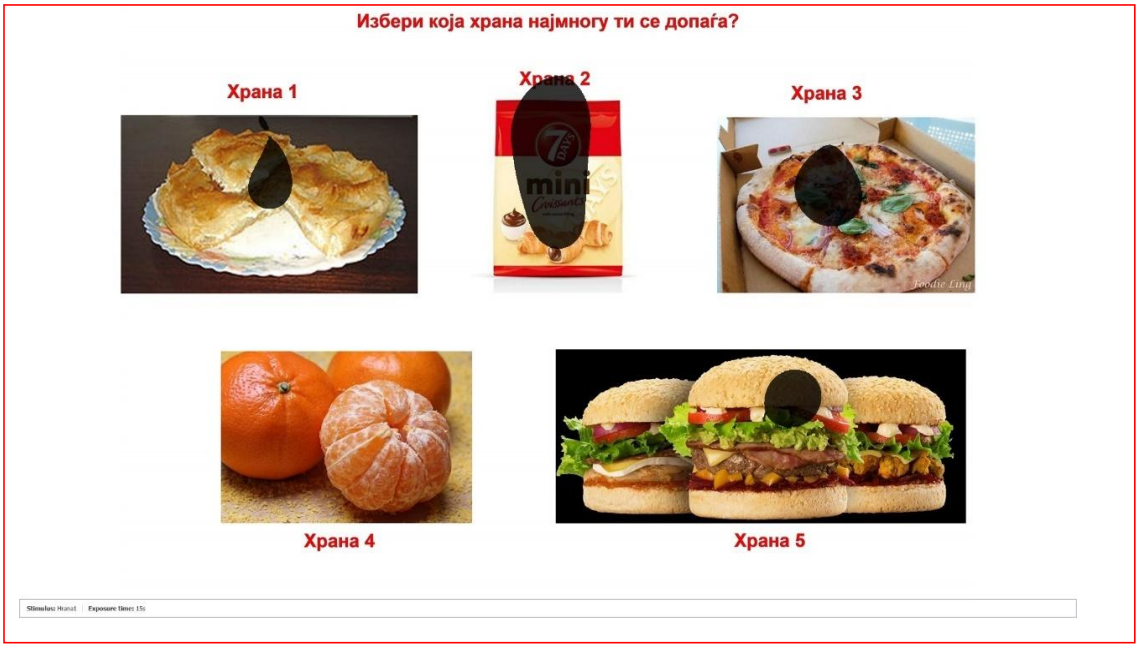
постои дискрепанца помеѓу двата вида на истражување: биосензорско (потсвесно) и анкетно (рационално размислување).



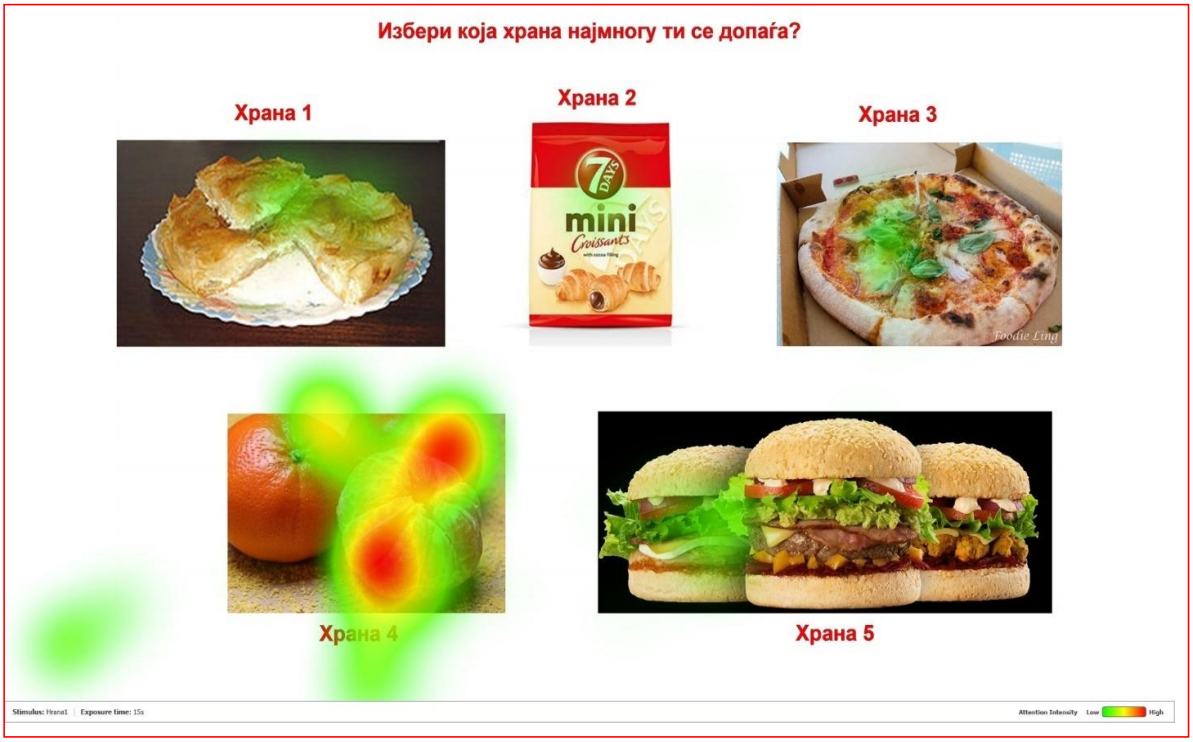
Слика 4. Топлинска мапа, стимул 1, испитаник 4

На слика 5 е прикажана топлинска мапа, за истиот испитаник 4, во shadow стил, каде површината на сенката покажува дека овој испитаник најголем интерес покажува за храна 2 (тоа е неговиот избор).

На слика 6 е прикажана топлинска мапа за испитаник 6, за стимул 1. Се забележува дека овој испитаник најголем интерес покажа за храна 4 (свежо овошје), а скоро никаков интерес за другите понудени видови храна. Ова покажува дека овој испитаник преферира здрава храна. При пополнување на анкетен прашалник, тој ја заокружи храна 2, што покажува дека не постои разидување помеѓу двете истражувања.



Слика 5. Топлинска мапа (shadow style), стимул 1, испитаник 4



Слика 6. Топлинска мапа, стимул 1, испитаник 6

На слика 7 и слика 8 се прикажани топлински мапи во два различни стилови за истиот испитаник 6.

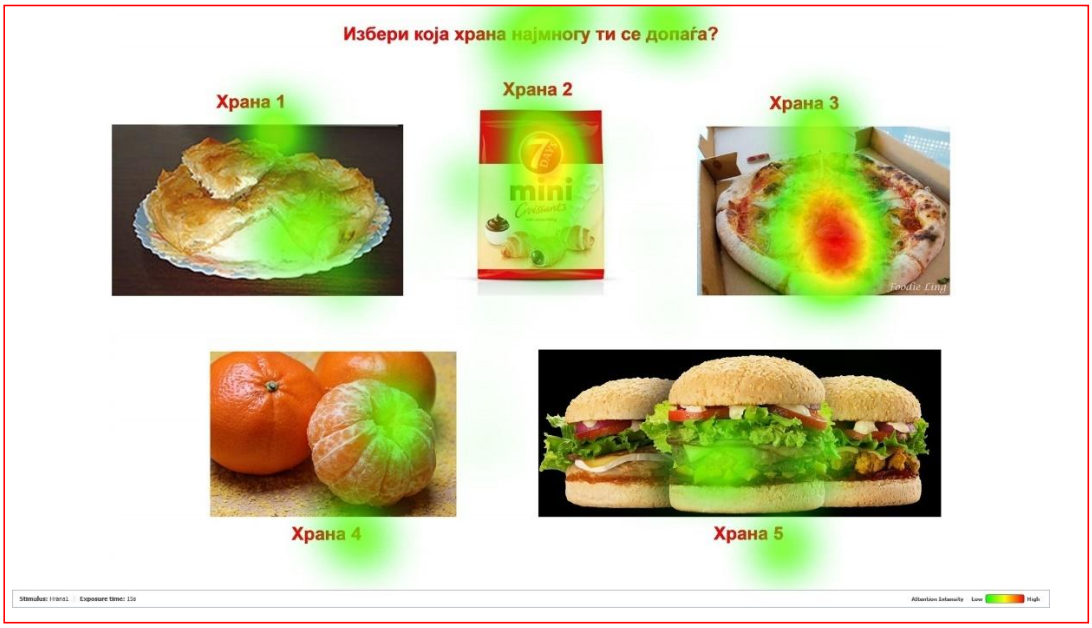


Слика 7. Топлинска мапа (shadow style), стимул 1, испитаник 6



Слика 8. Топлинска мапа (spotlight style), стимул 1, испитаник 6

На слика 9 и слика 10 се прикажани топлински мапи за испитаник 8. Овие визуелни прикази недвосмислено покажуваат дека овој испитаник ја избрал храна 3, додека за другата храна покажал помал интерес. При пополнување на анкетен прашалник, тој ја заокружи храна 3, што покажува дека не постои разидување (дискрепанца) помеѓу двете истражувања.



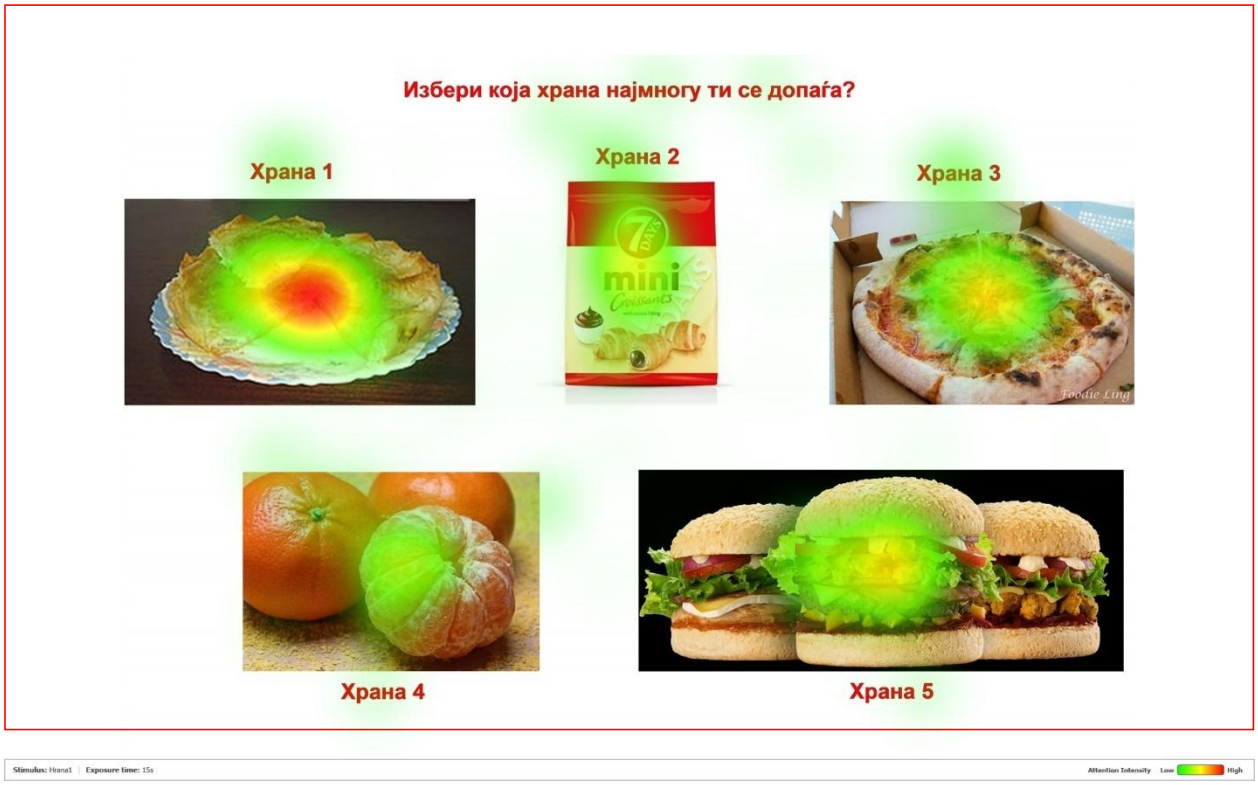
Слика 9. Топлинска мапа, стимул 1, испитаник 8



Слика 10. Топлинска мапа (shadow style), стимул 1, испитаник 8

Слика 11 прикажува карактеристична топлинска мапа која е процесирана кога испитаник 10 следел стимул 1 на екран. Се забележува дека овој испитаник најголем интерес покажал за храна 1 (бурек). На анкетниот прашалник тој ја заокружи храна 2 (кроасани). Овде постои дискрепанца помеѓу овие два вида истражувања. Кога после истражувањето разговарав со овој испитаник, тој одговори дека ја избрал храна 2, но

и многу ја сака храна 1 (се двоумел при изборот и сакал да ги заокружи и двата вида храна). Неговата потсвесна одлука (биосензорско следење на очи) покажува дека неговиот мозок имал многу позитивно искуство при консумирање храна 1.



Слика 11. Топлинска мапа, стимул 1, испитаник 10

Слика 12, слика 13 и слика 14 прикажуваат три (3) вида на топлински мапи за стимул 2, на испитаник 1. Овој испитаник има свој пијалок што најмногу го сака (покажал највисоко ниво на интерес),а тоа е пијалок 2. За другите пијалоци покажал многу мал интерес. И на анкетниот прашалник тој го заокружи пијалок 2, што покажува дека не постои дискрепанца помеѓу неговото потсвесно и рационално размислување.



Слика 12. Топлинска мапа, стимул 2, испитаник 1



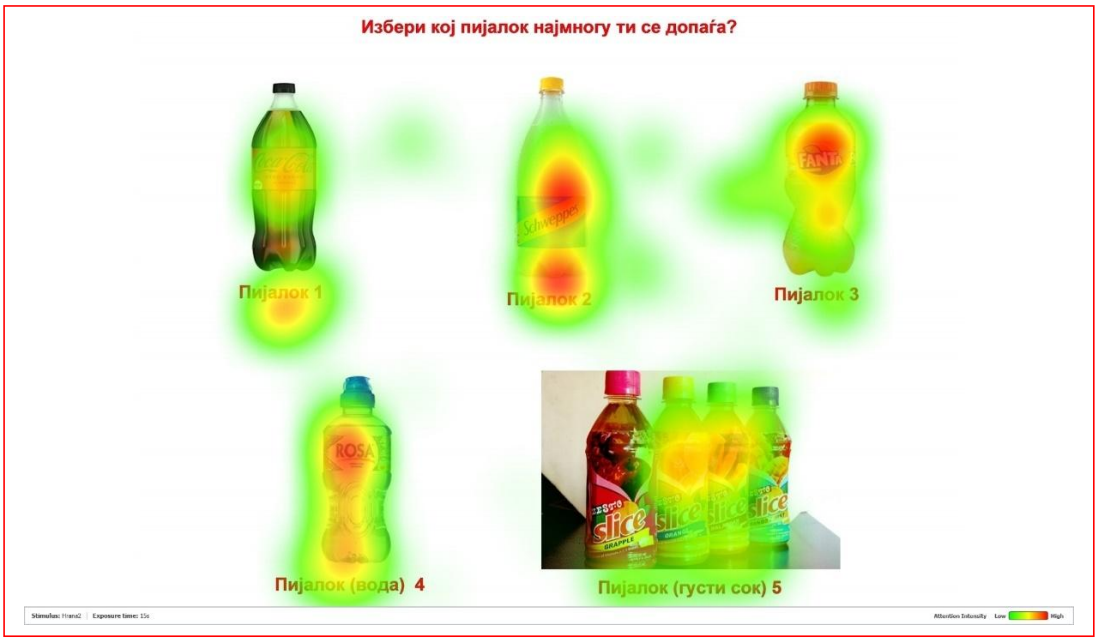
Слика 13. Топлинска мапа (shadow style), стимул 2, испитаник 1



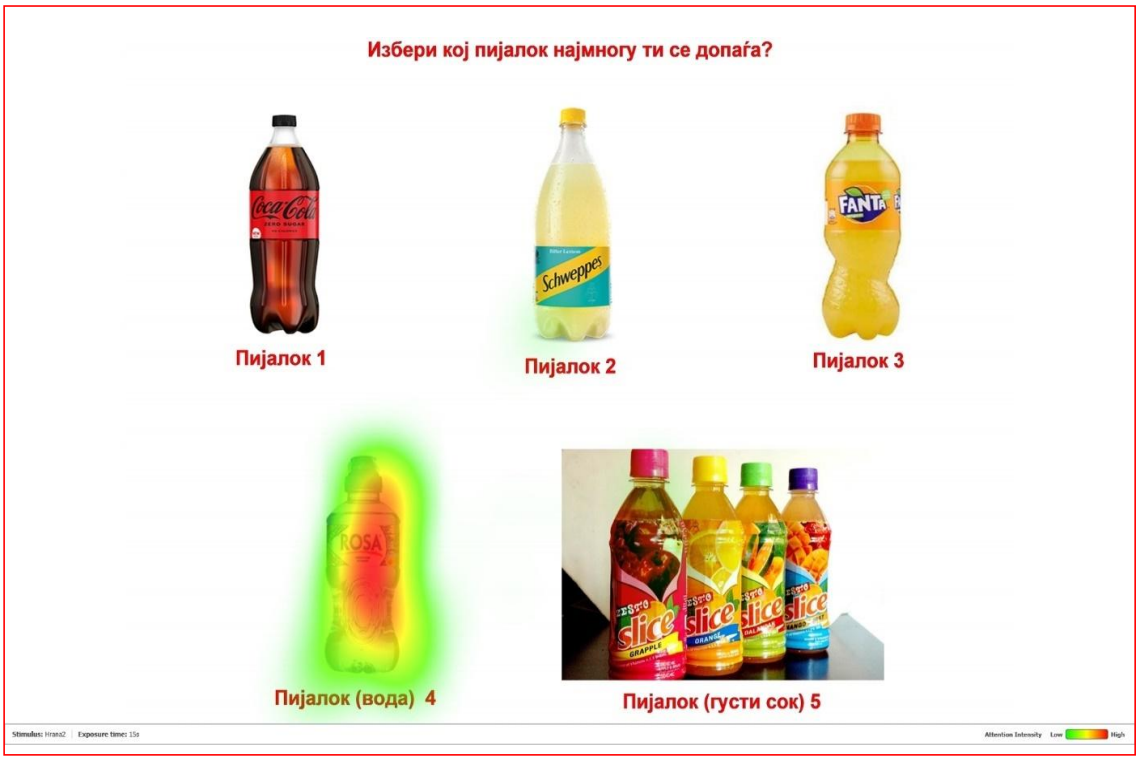
Слика 14. Топлинска мапа (spotlight style), стимул 2, испитаник 1

На слика 15 е прикажана топлинска мапа на испитаник 4. Се забележува дека овој испитаник нема пијалок кој најмногу го сака, бидејќи своето визуелно внимание го фокусирал на сите пијалоци (ниво на интерес). Сепак, со биосензорско следење на неговите очи се забележува дека за нијанса најголем интерес покажал за пијалок 2. На анкетниот прашалник тој го заокружил пијалок 4 (вода), што укажува можеби на одредено ниво на пристрасност (водата е поздрав пијалок отколку газирани пијалоци). Ова пристрасност може да се идентификува со анализа на други метрики со овој биосензор, и со користење на други биосензорски системи (анализа на израз на лице, галванска реакција на кожа, елекроенцефалографија – мерење на електрична мозочна активност и мерење мозочни бранови).

На слика 16 и слика 17 се прикажани два вида на топлински мапи на испитаник 6. Овој испитаник има свој пијалок што го преферира (од понудените). Тоа е пијалок 2 (вода). Ист избор поккажа и кога пополнуваше анкетен прашалник со заокружување. Ова поокажува дека не постои дискрепанца помеѓу двата реализирани методи на истражување.



Слика 15. Топлинска мапа, стимул 2, испитаник 4



Слика 16. Топлинска мапа, стимул 2, испитаник 6

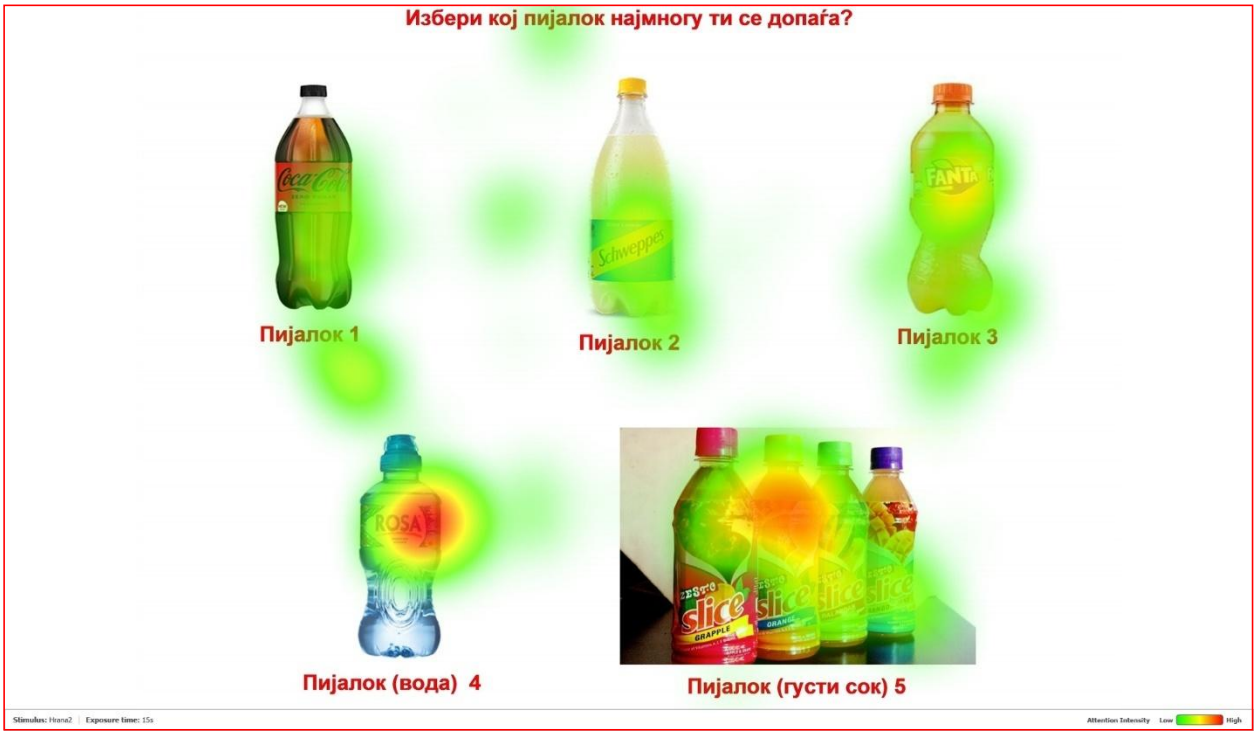


Слика 17. Топлинска мапа (spotlight style), стимул 2, испитаник 6

На слика 18 и слика 19 се прикажани два вида на топлински мапи на испитаник 8. Овој испитаник преферира (од понудените) густи сокови (пијалок 5). Но, исто така покажува интерес и за други пијалоци, пред се вода (пијалок 4). Ист избор овој испитаник покажа и кога пополнуваше анкетен прашалник со заокружување. Ова поокажува дека не постои дискрепанца помеѓу двата реализирани методи на истражување.

На слика 20 и слика 21 се прикажани два вида на топлински мапи на испитаник 10. Овој испитаник преферира пијалок 2, а нешто помалку пијалок 4. Овие два пијалоци се издвојуваат од останатите. Сепак преовладува пијалок 2. Тоа го покажува и големината на сенката. Кога испитаникот пополнил анкетен прашалник, тој го заокружил пијалок 4. Ова покажува дека постои дискрепанца помеѓу двата реализирани методи на истражување. Веројатно кај овој испитаник постои одредено ниво на пристрасност: помеѓу

два пијалоци кои најмногу ги сака го избрал оној кој е поздрав пијалок, иако неговото потсвесно размислување би го избрало пијалок 2.



Слика 18. Топлинска мапа, стимул 2, испитаник 8



Слика 19. Топлинска мапа (shadow style), стимул 2, испитаник 8



Слика 20. Топлинска мапа, стимул 2, испитаник 10



Слика 21. Топлинска мапа (shadow style), стимул 2, испитаник 10

На слика 22 е прикажана топлинска мапа (spotlight стил) на испитаник 10, стимул 2. Се забележува дека осветленоста (која е пропорционална на нивото на интерес) е најголема за пијалок 2 и пијалок 4, кои се избор во двата методи на истражување кои ги реализирав.



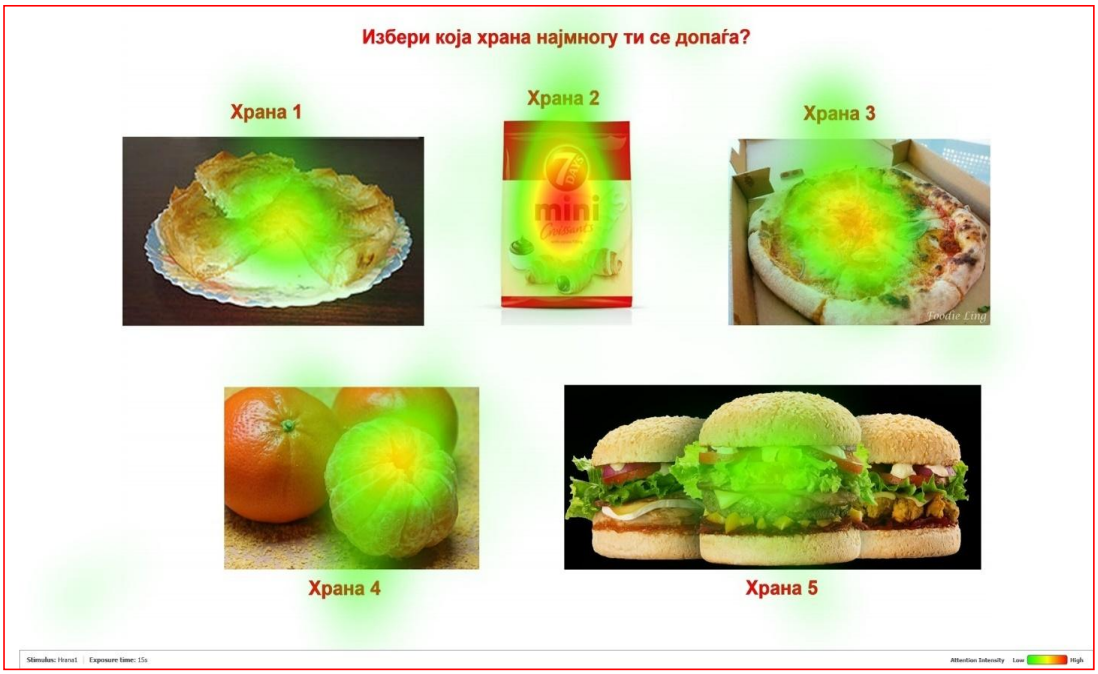
Слика 22. Топлинска мапа (spotlight style), стимул 2, испитаник 10

Топлински мапи: **Збирни анализи** - збирни агрегации (од сите испитаници заедно) кои откриваат дистрибуција на визуелно внимание

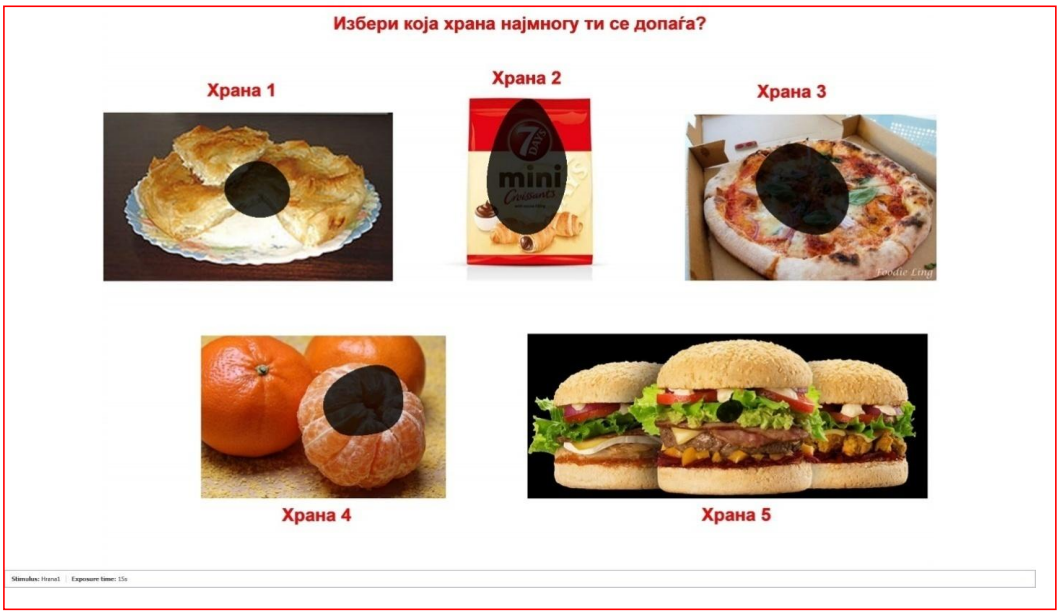
На слика 23 е прикажана збирна топлинска мапа од сите испитаници заедно, за стимул 1. Се забележува дека најголем интерес испитаниците покажале за храна 2 (што е потврдено и со збирна анализа на анкетен прашалник) (споредбена анализа во Табела 1) (4 од 10 испитаници ја заокружиле храна 2).

На слика 24 е прикажана топлинска збирна мапа од сите испитаници, каде може да се забележи дека површината на сенката (ниво на интерес) е најголема за храна 2.

На слика 25 е прикажана топлинска збирна мапа од сите испитаници, каде може да се забележи дека осветленоста (ниво на интерес) е најголема за храна 2.



Слика 23. Топлинска мапа, стимул 1, збирна анализа



Слика 24. Топлинска мапа (shadow style), стимул 1, збирна анализа



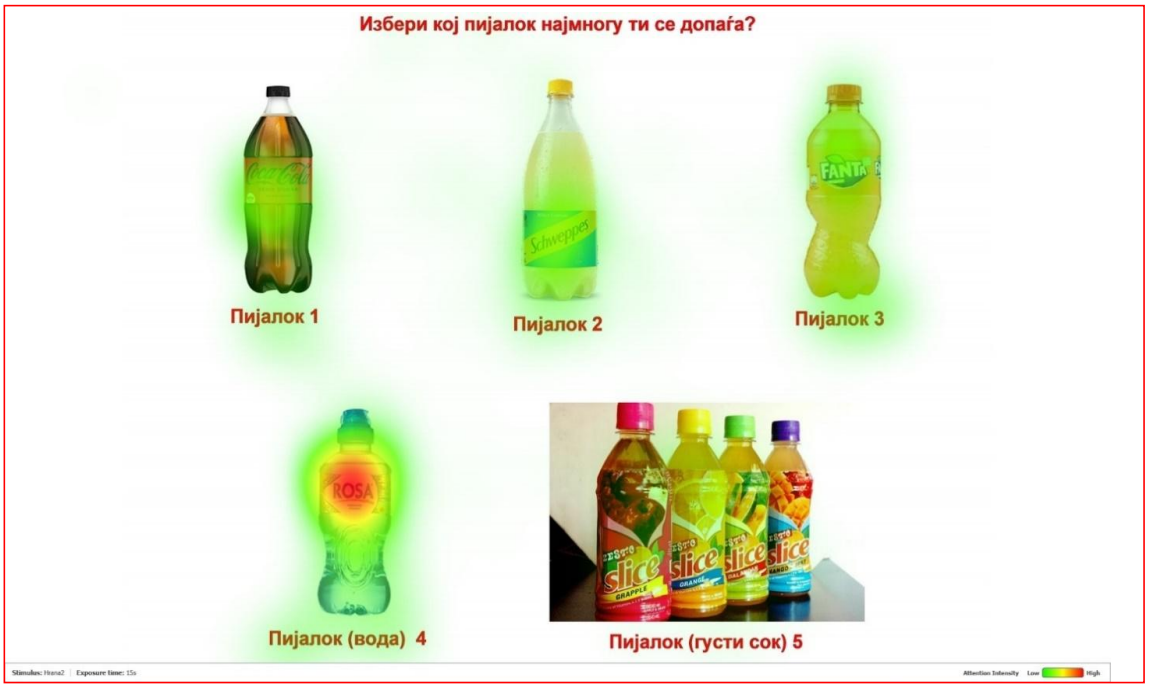
Слика 25. Топлинска мапа (spotlight style), стимул 1, збирна анализа

На слика 26, слика 27 и слика 28 се прикажани збирни топлински мапи од сите испитаници заедно, за стимул 2. Се забележува дека најголем интерес испитаниците покажале за **Пијалок 4** (што е потврдено и со збирна анализа на анкетен прашалник) (споредбена анализа во табела 2) (6 од 10 испитаници го заокружиле Пијалок 4).

На слика 27 е прикажана топлинска збирна мапа од сите испитаници заедно, каде може да се забележи дека површината на сенката (ниво на интерес) е најголема за **Пијалок 4**.

На слика 28 е прикажана топлинска збирна мапа од сите испитаници заедно (spotlight style), каде може да се забележи дека осветленоста (ниво на интерес) е најголема за **Пијалок 4**.

Овие збирни визуелни графички прикази за стимул 2 недвосмислено покажуваат дека испитаниците кои учествуваа во биосензорска опсервација на екрански стимул со користење на биосензор за следење на очи, својот избор во најголем процент го дале на **Пијалок 4 (негазирана вода за пиење пакувана во шише).**



Слика 26. Топлинска мапа, стимул 2, збирна анализа



Слика 27. Топлинска мапа (shadow style), стимул 2, збирна анализа



Слика 28. Топлинска мапа (spotlight style), стимул 2, збирна анализа

Низи на фиксации (Fixation sequences)

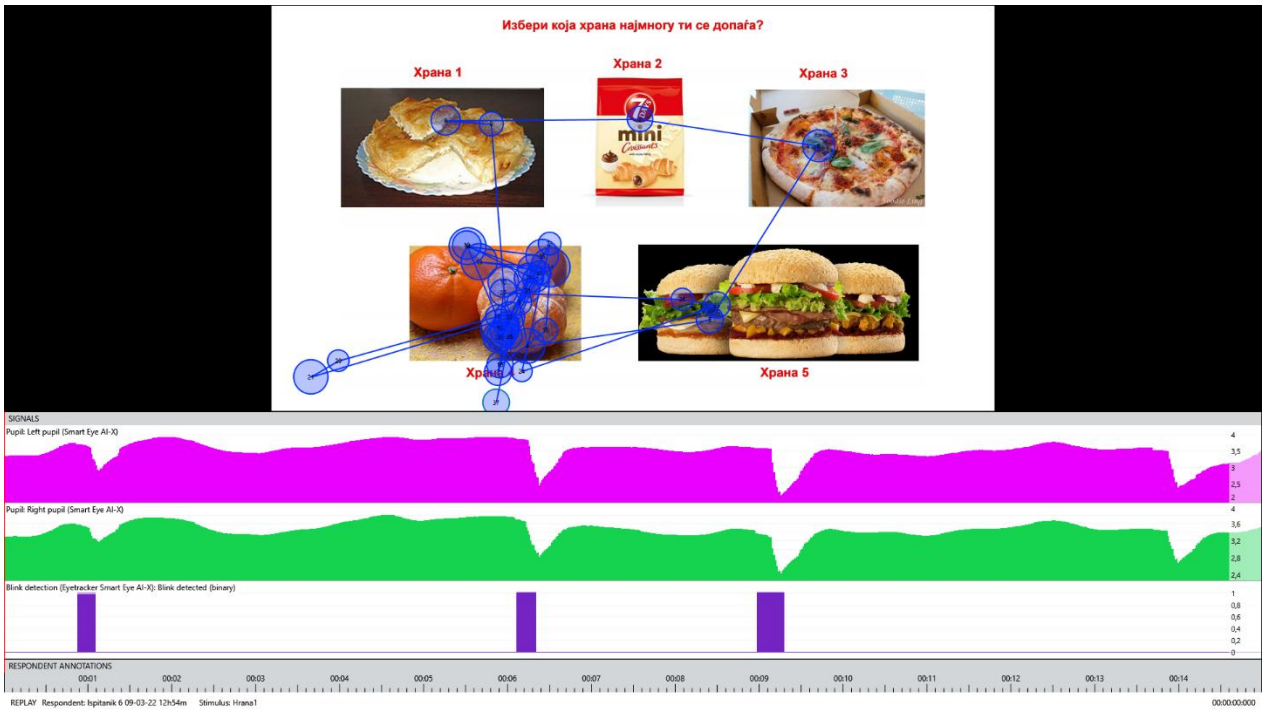
Ова е една од најчесто користените метрики во истражување со следење на очи.

На слика 29 се прикажани низа од фиксации на испитаник 6, за стимул 1. Се забележуваат фиксации (сини кругови) кои покажуваат:

- Редослед на локации каде испитаникот го задржал погледот (секој круг има број од 1 и нагоре). Број 1 покажува локација од стимулот каде испитаникот прво погледнал, итн.
- Големината на секој круг е пропорционална на времето на задржување на погледот на одреден сегмент од стимулот.
- Се забележува дека овој испитаник (според густина на фиксации) најголем интерес покажал за **Храна 4** (свежо овошје).

На сликата е прикажана дилатација на лева и десна зеница на очите на испитаникот. Се забележува дека испитаникот покажал високо ниво на возбуда (мерни единици од 2.5 до 4.0) при опсервација на поединечен сегмент од стимулот. Во компјуутерска анализа може да се направи реконструкција на целокупното следење на стимулот (траело 10 секунди), т.е детално, забавено да се анализира секој момент на следење (пример, каде гледал испитаникот кога имал одредено ниво на возбуда – дилатација на зеница е пропорционална на ниво на возбуда, а со тоа и ниво на интерес).

Исто така на сликата е прикажана и фреквенција на трепкање (сини столбови) на очите за период на опсервација на стимулот. Испитаникот направил 3 трепкања за период од 10 секунди. А, големината на фреквенцијата на трепкање е обратнопропорционална на нивото на концентрација (пример, нула трепкања индицира на високо ниво на концентрација на испитаникот).

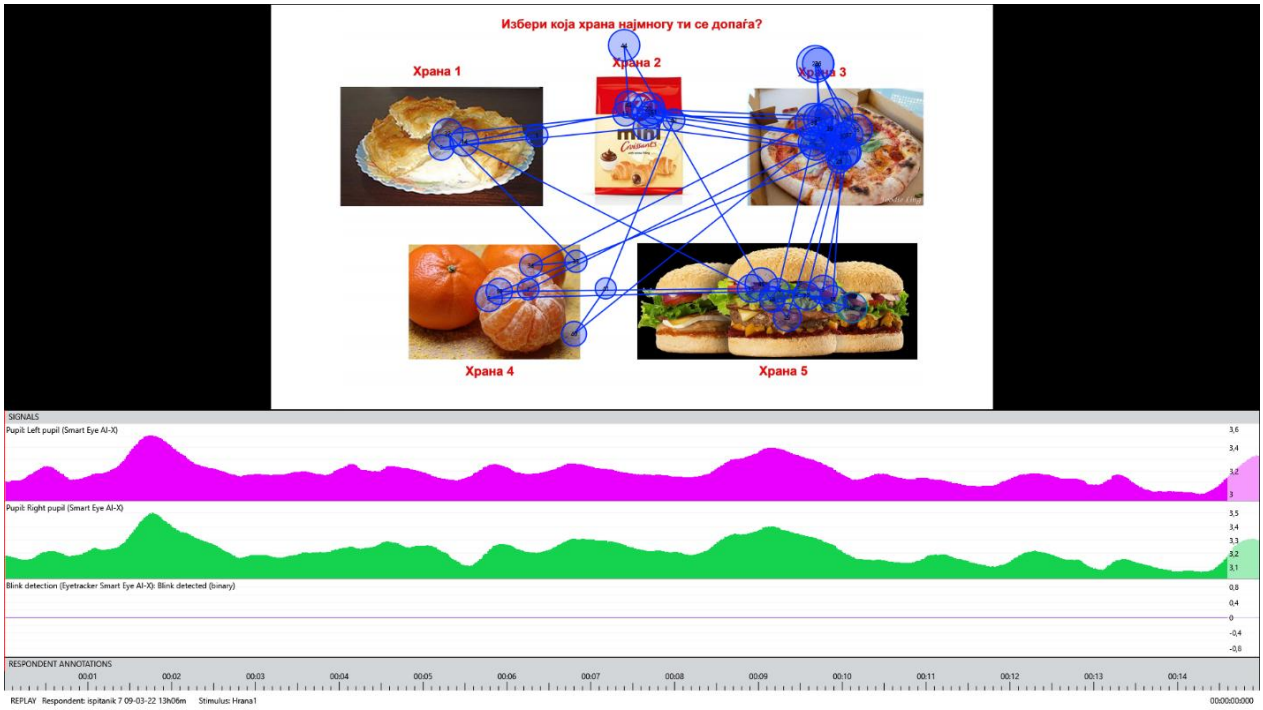


Слика 29: Низа на фиксации на испитаник **6** на стимул **1**

На слика 30 е прикажан распоред на фиксации на испитаник 7, стимул 1. Се забележува дека овој испитаник своето фокусирано внимание најмногу го посветил на храна 3 и храна 5 (највисоко ниво на интерес – оваа храна најмногу му се допаѓа).

Дилатацијата на зениците покажува зголемено ниво на возбуда во периоди кога испитаникот гледал на омилената храна. Нивото на дилатација на зениците е во интервал од 3.1 до 3.4 мерни единици.

На оваа слика се забележува дека овој испитаник ниту еднаш не трепнал за време на следење на екранскиот стимул. Ова покажува дека овој испитаник имал високо ниво на концентрација и фокусираност при следење на стимулот, со користење на биосензорски систем за следење на очи.



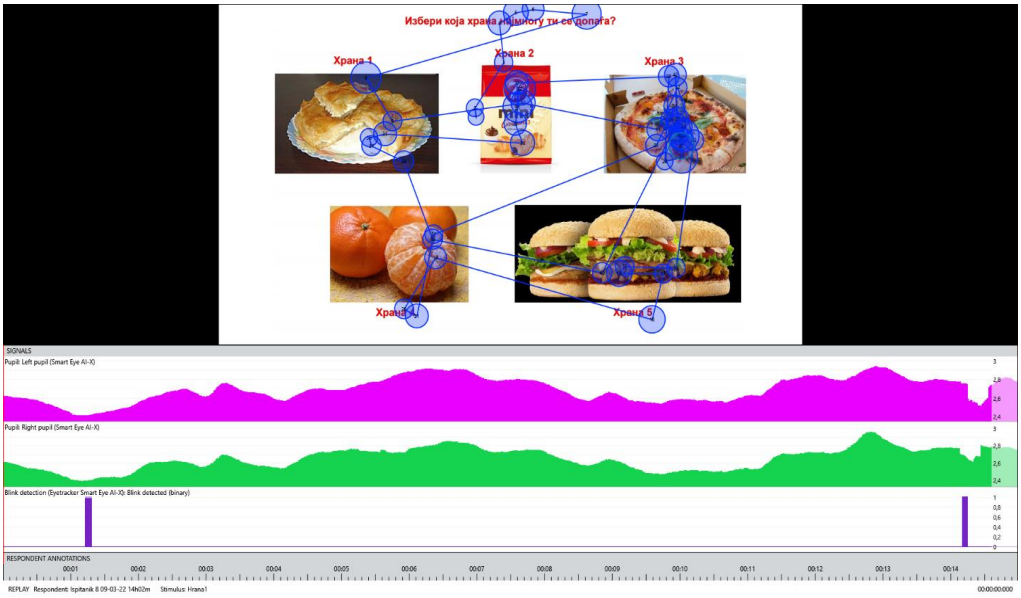
Слика 30: Низа на фиксации на испитаник **7** на стимул **1**

На слика 31 е прикажан распоред на фиксации на испитаник 8, стимул 1. Овој испитаник своето фокусирано внимание најмногу го посветил на храна 3 (најголема концентрација на фиксации и нивно време на траење) (највисоко ниво на интерес –

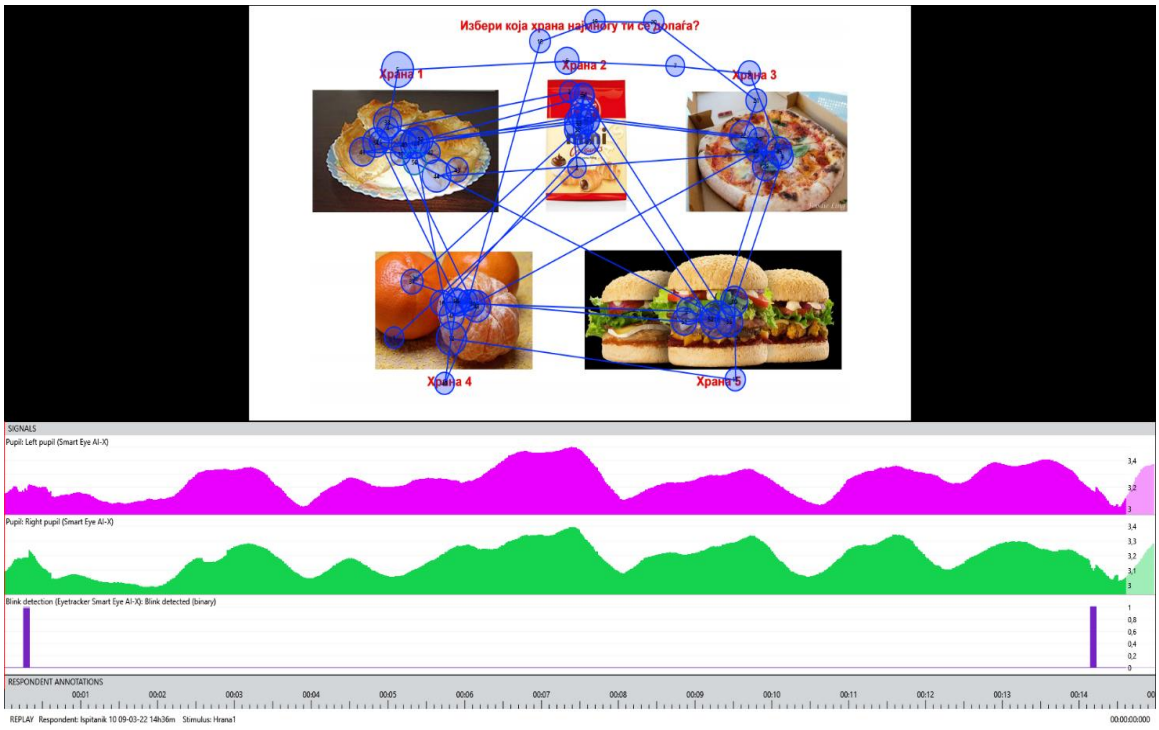
оваа храна најмногу му се допаѓа), додека за другата понудена храна покажал многу помал интерес.

Дилатацијата на зениците покажува средно ниво на возбуда во периоди кога испитаникот гледал на омилената храна. Нивото на дилатација на зениците е во интервал од 2.5 до 2.8 (мерни единици).

На оваа слика се забележува дека овој испитаник трепнал двапати за време на следење на екранскиот стимул. Ова покажува дека овој испитаник има намалено ниво на концентрација и фокусираност при следење на стимулот, со користење на биосензорски систем за следење на очи.



Слика 31: Низа на фиксации на испитаник **8** на стимул **1**

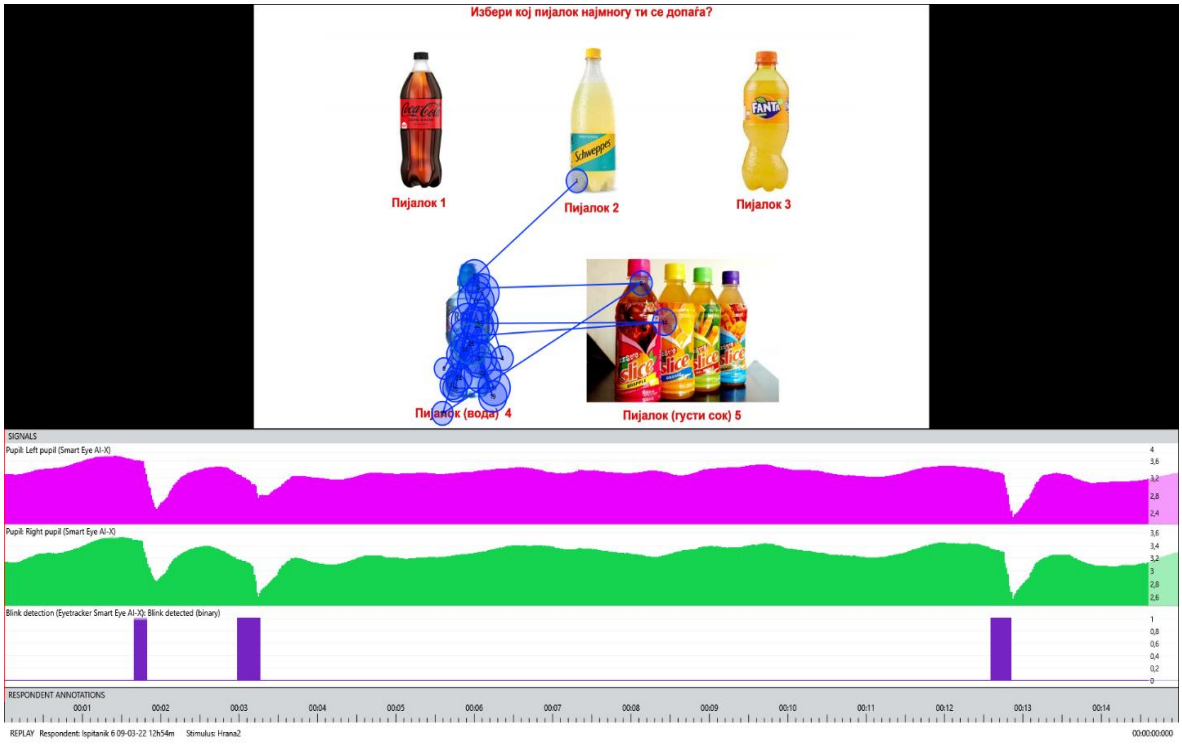


Слика 32: Низа на фиксации на испитаник **10** на стимул **1**

На слика 32 е прикажан распоред на фиксации на испитаник 10, стимул 1. Овој испитаник нема храна што најмногу ја посакува. Неговото фокусирано внимание е дистрибуирано на сите понудени видови храна. Сепак ако детално, забавено се анализира дилатацијата на неговите зеници, може да се открие на која храна покажува зголемен интерес (зениците имаат повисока вредност – силно отворени зеници).

Дилатацијата на зениците покажува високо ниво на возбуда во периоди кога испитаникот гледал на омилената храна. Нивото на дилатација на зениците е во интервал од 3.1 до 3.4 (мерни единици).

На оваа слика се забележува дека овој испитаник трепнал двапати (на почеток и на крајот од следењето на стимулот) за време на следење на екранскиот стимул. Ова покажува дека овој испитаник има високо ниво на концентрација и фокусираност при следење на стимулот (во поголем дел од времето кога набљудувал), со користење на биосензорски систем за следење на очи.

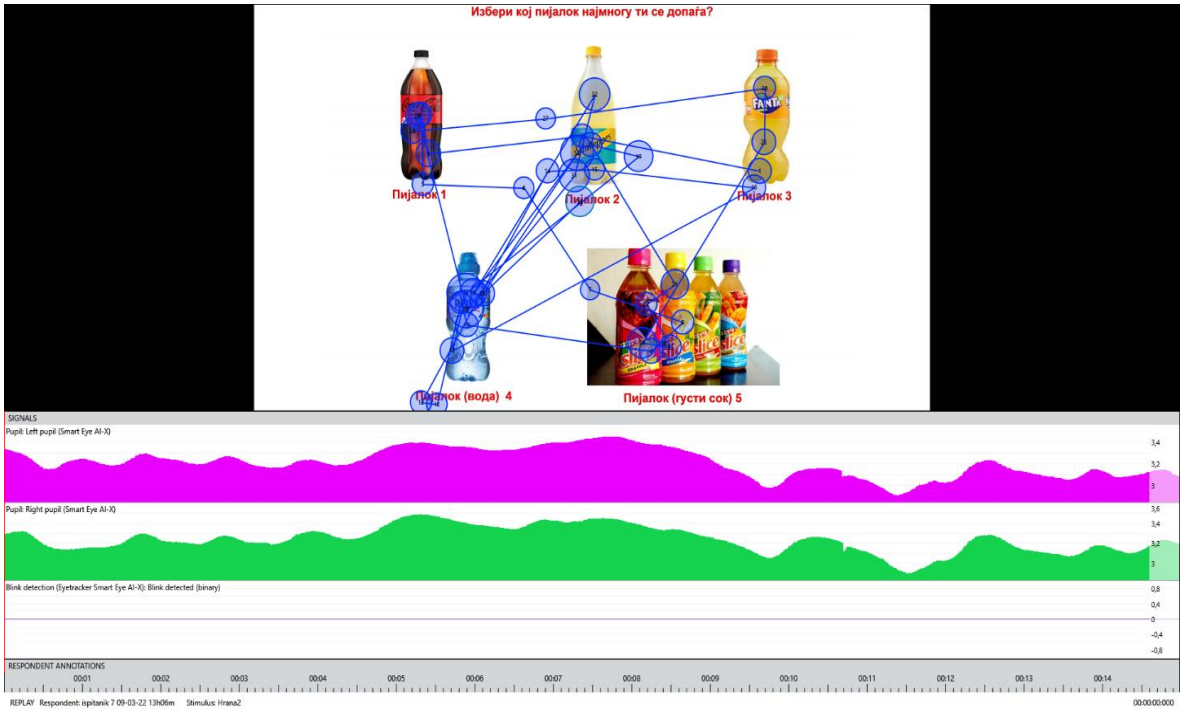


Слика 33: Низа на фиксации на испитаник **6** на стимул **2**

На слика 33 е прикажан распоред на фиксации на испитаник 6, стимул 2. Овој испитаник своето фокусирано внимание во голем дел од времето го посветил на Пијалок 4 (негов недвосмислен избор), што покажува и концентрацијата на фиксации. На другите понудени пијалоци тој не посветил скоро никакво фокусирано внимание.

Дилатацијата на зениците покажува широк распон на ниво на возбуда во периоди кога испитаникот гледал на омилената храна. Нивото на дилатација на зениците е во интервал од 2.4 до 3.8 (мерни единици).

На оваа слика се забележува дека овој испитаник трепнал три (3) пати за време на следење на екранскиот стимул. Ова покажува дека овој испитаник има просечно ниво на концентрација и фокусираност (има свој омилен примерок и другите ги игнорира – не го интересираат).

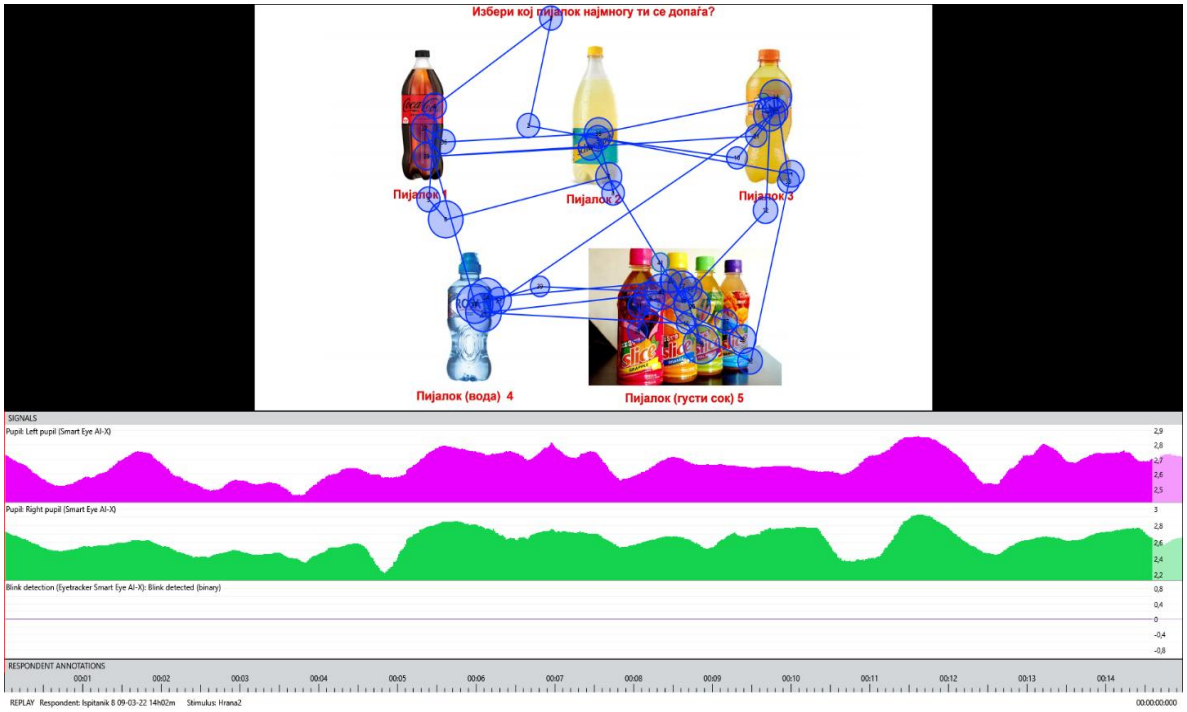


Слика 34: Низа на фиксации на испитаник **7** на стимул **2**

На слика 34 е прикажан распоред на фиксации на испитаник 7, стимул 2. Се забележува дека овој испитаник своето фокусирано внимание најмногу го посветил на Пијалок 2 и Пијалок 4 (највисоко ниво на интерес – овие пијалоци најмногу му се допаѓаат).

Дилатацијата на зениците покажува зголемено ниво на возбуда во периоди кога испитаникот гледал во омилената храна. Нивото на дилатација на зениците е во интервал од 3.1 до 3.4 мерни единици.

На оваа слика се забележува дека овој испитаник ниту еднаш не трепнал за време на следење на екранскиот стимул. Ова покажува дека овој испитаник имал високо ниво на концентрација и фокусираност при следење на стимулот, со користење на биосензорски систем за следење на очи.

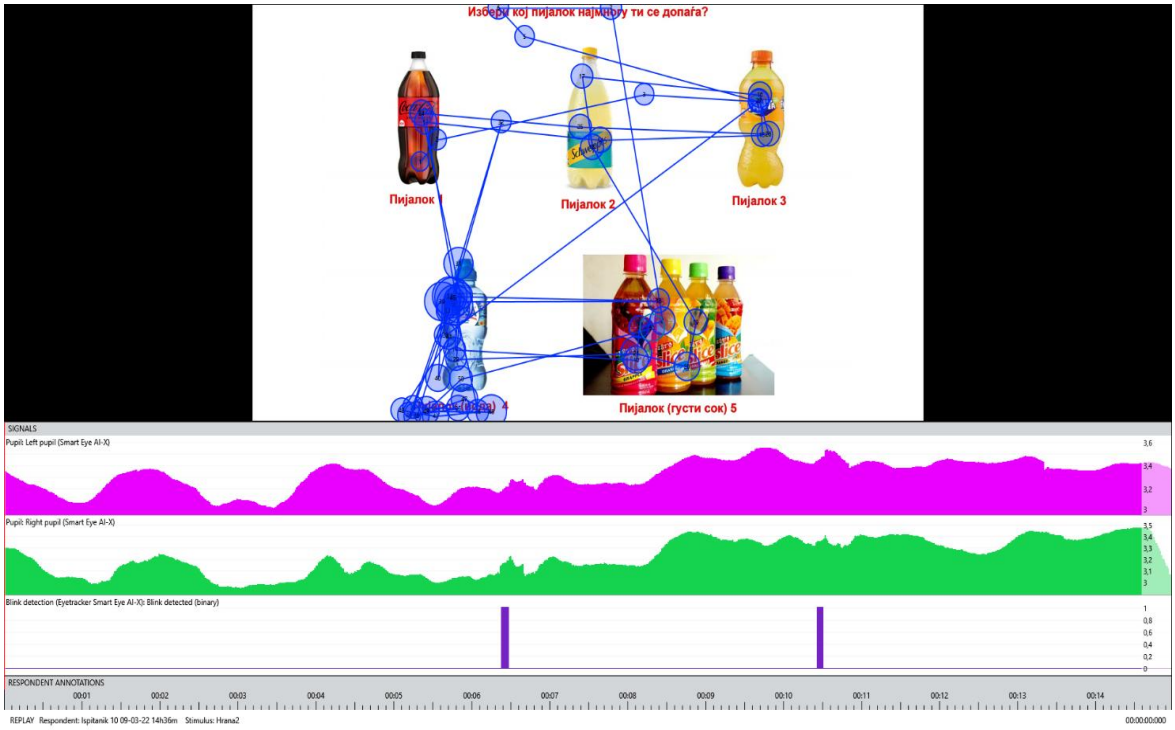


Слика 35: Низа на фиксации на испитаник **8** на стимул **2**

На слика 35 е прикажан распоред на фиксации на испитаник 8, стимул 2. Овој испитаник нема пијалок што најмногу го посакува, но сепак најголем интерес и фокус покажал за пијалок 5 (густи сокови), каде има и најголема густина на фиксации.

Дилатацијата на зениците покажува просечно ниво на возбуда во периоди кога испитаникот гледал во омилената храна. Нивото на дилатација на зениците е во интервал од 2.4 до 2.9 (мерни единици).

На оваа слика се забележува дека овој испитаник ниту еднаш не трепнал за време на следење на екранскиот стимул. Ова покажува дека овој испитаник имал високо ниво на концентрација и фокусираност при следење на стимулот, со користење на биосензорски систем за следење на очи.



Слика 36: Низа на фиксации на испитаник **10**, стимул **2**

На слика 36 е прикажан распоред на фиксации на испитаник 10, стимул 2. Овој испитаник своето фокусирано внимание во голем дел од времето го посветил на Пијалок 4 (негов недвосмислен избор), што покажува и концентрацијата на фиксации. На другите понудени пијалоци тој посветил многу малку од своето фокусирано внимание.

Дилатацијата на зениците покажува просечно ниво на возбуда во периоди кога испитаникот гледал на омилената храна. Нивото на дилатација на зениците е во интервал од 2.4 до 2.8 (мерни единици).

На оваа слика се забележува дека овој испитаник трепнал двапати за време на следење на екранскиот стимул. Ова покажува дека овој испитаник има просечно ниво на концентрација и фокусираност (има свој омилен примерок и другите пијалоци помалку го интересираат.

Области на интерес (Areas of interest). Поединечни анализи

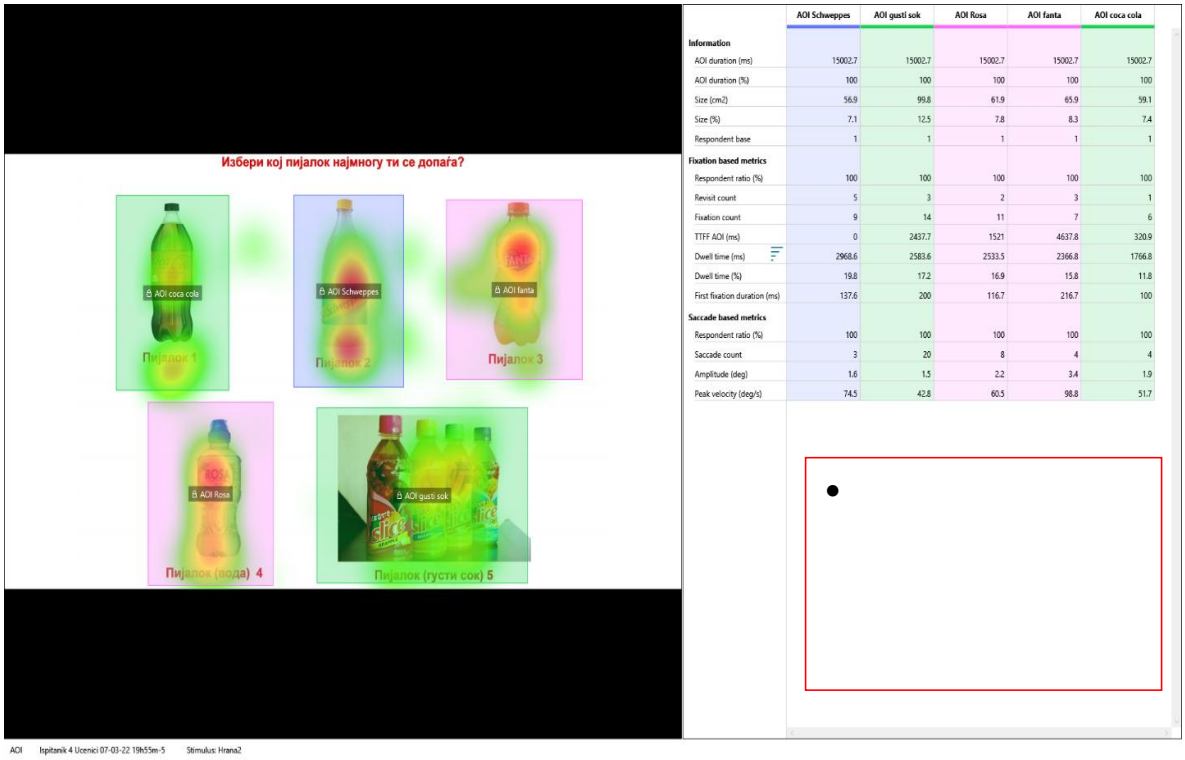
Со креирање на одредена област од интерест (за поединечен испитаник), се покажуваат повеќе метрики кои даваат карактеристики за визуелното внимание за одреден стимул.



Слика 37. Област на интерес, стимул 1, испитаник 10

На слика 37 е прикажана област на интерес со креирани 5 бафер зони (области околу понудени видови храна), за стимул 1 на испитаник 10. Добиени се поголем број метрики кои можат да се анализираат. Секако најзначајна е метрика: поминато време (Dwell time %) за набљудување на одреден вид храна – колку време испитаникот потрошил (%) кога набљудувал одредена бафер зона.

Се забележува дека овој испитаник најголем интерес (**26.6 %**) покажал за **храна 1**, а за останатите понудени храни тој интерес е помал. Ова покажува дека неговиот избор е **храна 1**.

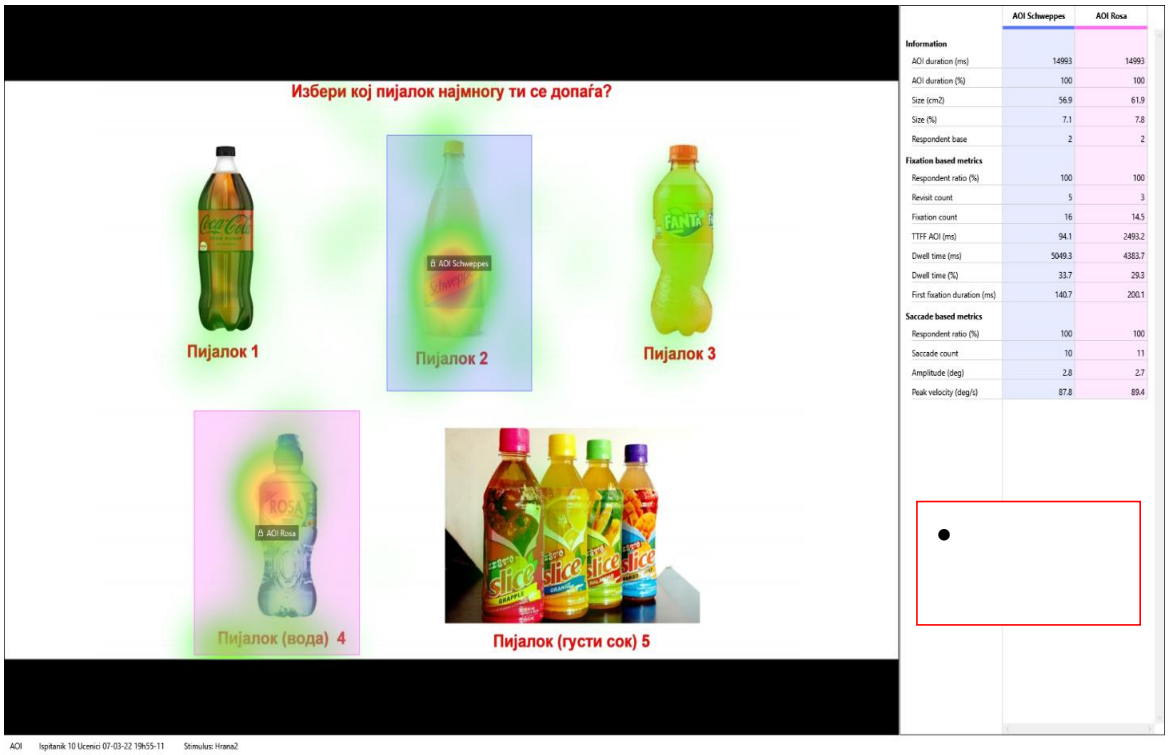


Слика 38. Област на интерес, стимул 2, испитаник 4

На слика 38 е прикажана област на интерес со креирани 5 бафер зони (области околу понудени видови пијалок), за стимул 2 на испитаник 4. Добиени се поголем број метрики кои можат да се анализираат. Секако најзначајна е метрика: поминато време (Dwell time %) за набљудување на одреден вид пијалок – колку време испитаникот потрошил (%) кога набљудувал одредена бафер зона.

Се забележува дека овој испитаник најголем интерес (**19.8 %**) покажал за **Пијалок 2**, а за останатите понудени храни тој интерес е помал. Ова покажува дека неговиот избор е **Пијалок 2.** За.пијалок 5 своето внимание го фокусирал на 17.2 %

од времето, на пијалок 4 16.9 %, на пијалок 3 15.8 % и најмалку на пијалок 1 - 11.8 % (кока кола).



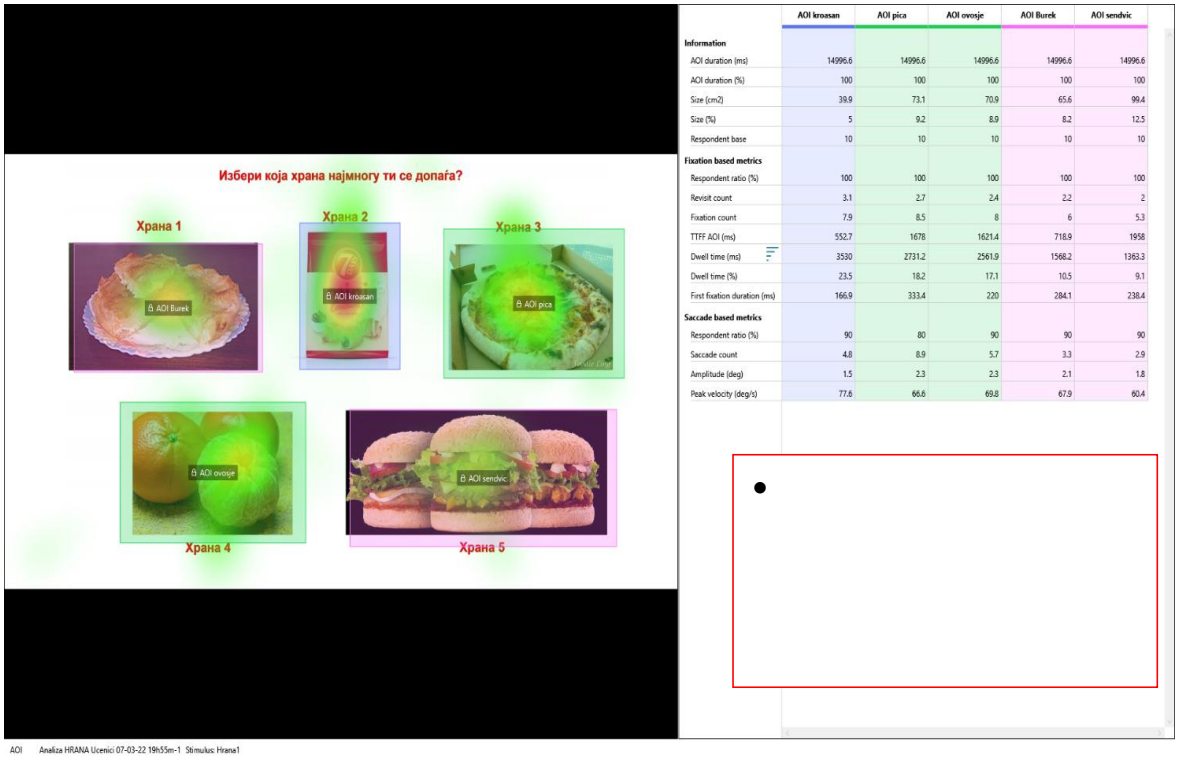
Слика 39. Област на интерес, стимул 2, испитаник 10

На слика 39 е прикажана област на интерес со креирани 2 бафер зони (области околу понудени видови пијалок), за стимул 2 на испитаник 10. Креирани се само две бафер зони бидејќи за овие пијалоци испитаникот покажал најголем интерес (останатите пијалоци не го интересирале). Добиени се поголем број метрики кои можат да се анализираат. Секако најзначајна е метрика: Поминато време (Dwell time %) за набљудување на одреден вид пијалок и колку време испитаникот потрошил (%) кога набљудувал одредена бафер- зона.

Се забележува дека овој испитаник најголем интерес (**33.7 %**) покажал за **Пијалок 2**, а за пијалок 4 го фокусирал своето внимание 29.3 % од времето за набљудување. Ова покажува дека неговиот избор е **Пијалок 2 (швепс).**

Области на интерес (Areas of interest). Збирни анализи

Со креирање на одредена област од интерест (за сите испитаници заедно), се покажуваат повеќе метрики кои даваат карактеристики за визуелното внимание за одреден стимул.



	AOI kroasan	AOI pica	AOI ovosje	AOI Burek	AOI sendvic
Information					
AOI duration (ms)	14996.6	14996.6	14996.6	14996.6	14996.6
AOI duration (%)	100	100	100	100	100
Size (cm2)	39.9	73.1	70.9	65.6	99.4
Size (%)	5	9.2	8.9	8.2	12.5
Respondent base	10	10	10	10	10
Fixation based metrics					
Respondent ratio (%)	100	100	100	100	100
Revisit count	3.1	2.7	2.4	2.2	2
Fixation count	7.9	8.5	8	6	5.3
TTFF AOI (ms)	552.7	1678	1621.4	718.9	1958
Dwell time (ms)	3530	2731.2	2561.9	1568.2	1363.3
Dwell time (%)	23.5	18.2	17.1	10.5	9.1
First fixation duration (ms)	166.9	333.4	220	284.1	238.4
Saccade based metrics					
Respondent ratio (%)	90	80	90	90	90
Saccade count	4.8	8.9	5.7	3.3	2.9
Amplitude (deg)	1.5	2.3	2.3	2.1	1.8
Peak velocity (deg/s)	77.6	66.6	69.8	67.9	60.4

AOI Analiza HRANA Ucenici 07-03-22 19h55m-1 Stimulus: Hrana1

Слика 40. Област на интерес, стимул 1

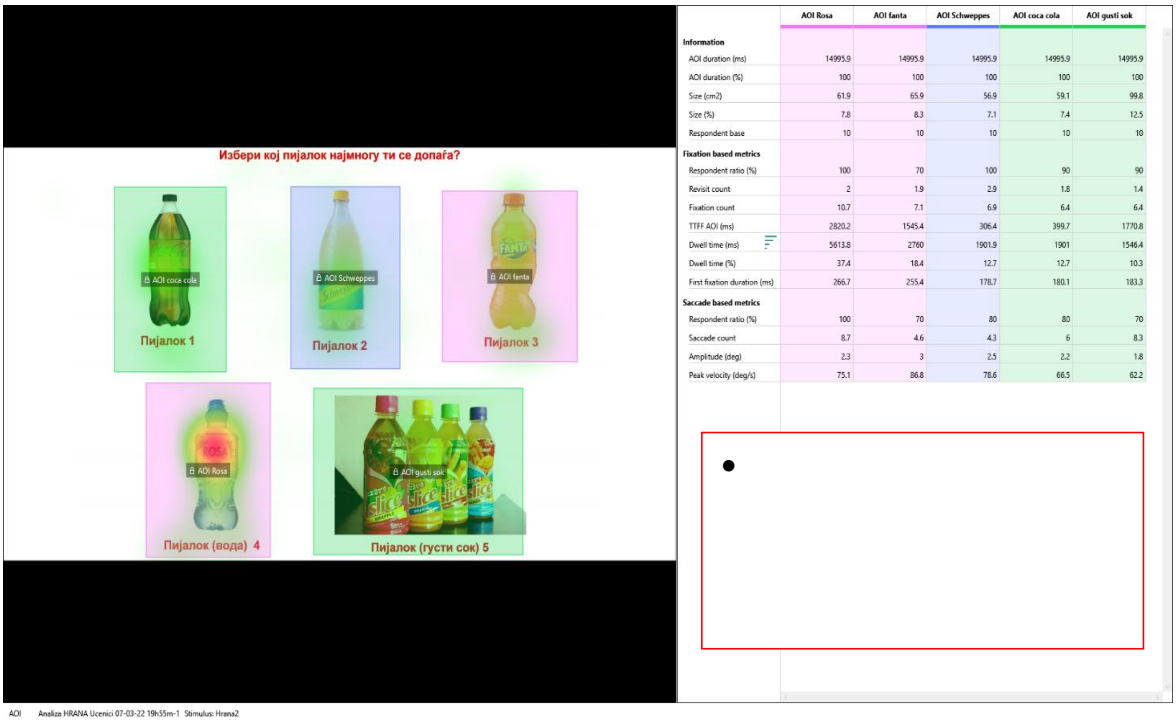
На слика 40 е прикажана област на интерес (збирна анализа од сите испитаници заедно) со креирани 5 бафер- зони (области околу понудени видови храна), за стимул 1. Добиени се поголем број метрики кои можат да се анализираат. Секако најзначајна метрика е: поминато време (Dwell time %) за набљудување на одреден вид храна – колку време испитаниците потрошиле (%) кога набљудувале одредена бафер- зона.

Се забележува дека испитаниците најголем интерес (**23.5 %**) покажале за **Храна 2**, а за храна 3 (пица) го фокусирале своето внимание 18.2 % од времето за набљудување. Ова покажува дека нивниот избор е **храна 2 (кроасани).** Потоа

следува храна 4 (овошје) 17.1 %, храна 1 (бурек) 10.5 %, и храна 5 (сендвич) со најмалку – 9.1 %.

На слика 41 е прикажана област на интерес (збирна анализа од сите испитаници заедно) со креирани 5 бафер- зони (области околу понудени видови пијалоци), за стимул 2. Добиени се поголем број метрики кои можат да се анализираат. Секако најзначајна метрика е: поминато време (Dwell time %) за набљудување на одреден вид пијалок и колку време испитаниците потрошиле (%) кога набљудувале одредена бафер- зона.

Се забележува дека испитаниците најголем интерес (**37.4 %**) покажале за **Пијалок 4 (природна вода)**, а за пијалок 3 (фанта) го фокусирале своето внимание 18.4 % од времето за набљудување. Ова покажува дека нивниот избор е **пијалок 4.** Потоа следува пијалок 2 (швепс) 12.7 %, пијалок 1 (кока кола) 12.7 %, и пијалок 5 (густи сокови) со најмалку – 10.3 %.



Слика 41. Област на интерес, стимул 2

Збирните анализи се исклучително значајни за анализа на пазарот (неврома-маркетинг). Денес многу компании во светот изработуваат вакви анализи со голем број испитаници (потрошувачи), кои им помагаат да креираат маркетинг стратегии за различни целни групи. Вакви истражувања со користење биосензорски системи овозможуваат да се истражи мислењето на потрошувачите, истражувања кои во суштина се ослободени од пристрасни одговори кои можат да се случат при рационално анкетирање.

1. **Споредување на поединечни вредност (посебно за секој стимул) за сите испитаници: Табела 1**

Стимул 1			
Испитаник	**Анкетен прашалник**	**Биометриско мерење со Eye Tracker**	**Дискрепанца (2-3)**
Испитаник **1**	**Храна 1**	**Храна 1**	**нема**
Испитаник **2**	**Храна 2**	**Храна 2**	**нема**
Испитаник **3**	**Храна 3**	**Храна 3**	**нема**
Испитаник **4**	**Храна 2**	**Храна 2**	**нема**
Испитаник **5**	**Храна 4**	**Храна 4**	**нема**
Испитаник **6**	**Храна 4**	**Храна 4**	**нема**
Испитаник **7**	**Храна 3**	**Храна 3**	**нема**
Испитаник **8**	**Храна 3**	**Храна 3**	**нема**
Испитаник **9**	**Храна 2**	**Храна 2**	**нема**
Испитаник **10**	**Храна 2**	**Храна 1**	**има: 2 и 1**
Збирни резултати	**Храна 1: 1/10 (10.0%) Храна 2: 4/10 (40.0%) Храна 3: 3/10 (30.0%) Храна 4: 2/10**	**Храна 1: 2/10 (20.0%) Храна 2: 3/10 (30.0%) Храна 3: 3/10 (30.0%) Храна 4: 2/10**	

	(20.0%)	**(20.0%)**	

Заклучок:

- Со анкетен прашалник – најдобра храна за испитаниците е **Храна 2**.
- Со биосензорско мерење, најдобра храна за испитаниците се: **Храна 2** и **Храна 3**

Стимул 2

Испитаник	**Анкетен прашалник**	**Биометриско мерење со Eye Tracker**	**Дискрепанца (2-3)**
Испитаник **1**	**Пијалок 2**	**Пијалок 2**	**нема**
Испитаник **2**	**Пијалок 3**	**Пијалок 4**	**има: 3 и 4**
Испитаник **3**	**Пијалок 1**	**Пијалок 1**	**нема**
Испитаник **4**	**Пијалок 4**	**Пијалок 2**	**има: 4 и 2**
Испитаник **5**	**Пијалок 4**	**Пијалок 4**	**нема**
Испитаник **6**	**Пијалок 4**	**Пијалок 4**	**нема**
Испитаник **7**	**Пијалок 4**	**Пијалок 4**	**нема**
Испитаник **8**	**Пијалок 5**	**Пијалок 5**	**нема**
Испитаник **9**	**Пијалок 4**	**Пијалок 4**	**нема**
Испитаник **10**	**Пијалок 4**	**Пијалок 2**	**има: 4 и 2**
Збирни резултати	**Пијалок 1: 1/10 (10.0%)) Пијалок 2: 1/10 (10.0%)) Пијалок 3: 1/10 (10.0%) Пијалок 4: 6/10 (60.0%) Пијалок 5: 1/10**	**Пијалок 1: 1/10 (10.0%) Пијалок 2: 3/10 (30.0%) Пијалок 3: 0/10 (0.0%) Пијалок 4: 5/10 (50.0%) Пијалок 5: 1/10**	

	(10.0%)	**(10.0%)%)**	

Заклучок:

- Со анкетен прашалник – најдобра храна за испитаниците е **Храна 4**.
- Со биосензорско мерење, најдобра храна за испитаниците е: **Храна 4.**

Табела 2

Прилог 1: Анкетен прашалник.

Анкетен прашалник за избор на ХРАНА

АНКЕТЕН ПРАШАЛНИК (self-report)

Испитаник:

Во два дадени теста, заокружи го оној производ што најмногу ти се допаѓа:

ТЕСТ 1



ТЕСТ 2



ЗАКЛУЧОК

Уреди за носење за физиолошко откривање се усвоени во различни примени, како што се следење на личното здравје, проценка и контрола на психофизиолошки состојби, проценка на стрес, спречување на лезии на мозокот и контрола на роботи, роботски раце или уреди како инвалидски колички, со откривање движења на очите, мозочни бранови и пот. Оваа технологија стана неопходност за некои луѓе. Покрај следењето на физиолошките вредности, уредите за носење се повеќе се користат за откривање на емоции, намалување на стресот и олеснување на когнитивниот тренинг.

Затоа, сè поголем број истражувачки институции се фокусираат на апликациите за ЕЕГ, ЕОГ и кортизол за да ја подобрат точноста на податоците во емоционалното откривање. Многу технички тешкотии мора да се надминат во развојот на новата технологија. Шемите на активност на корисниците не треба да влијаат на точноста на сензорот, а чувствителноста на сензорот треба да се прилагоди. Покрај тоа, ефикасноста на сензорите за носење мора да биде научно потврдена. Овие проблеми треба да се решат. Комерцијалните производи кои се составени од уреди за носење и биосензори имаат малку докази за поддршка на придобивките што тие ги тврдат, а нивната практична вредност е контроверзна. Од клучно значење е да се утврди дали физиолошките податоци собрани од овие уреди се точни и дали е медицински етички да се соберат овие податоци. Во иднина, зголемената употреба на уреди за носење во здравјето и спортските перформанси може да им користи на истражувачите при собирањето податоци. Соработката помеѓу биосензорите и апликациите може да го поддржи развојот на прецизна медицина, да генерира значителен финансиски профит и да го подобри квалитетот на животот на корисниците. Затоа, компаниите за здравје и технологија за перформанси треба да соработуваат со истражувачите за да ја потврдат ефикасноста и научната вредност на нивните производи, така што биосензорите можат да се користат во секојдневниот живот.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА:

1. https://www.eurekaselect.com/chapter/18999
2. Zheng, M.; Liu, P.X.; Gravina, R.; Fortino, G. An emerging wearable world: New gadgetry produces a rising tide of changes and challenges. *IEEE Syst. Man Cybern. Mag.* **2018**, *4*, 6–14.
3. Gernsback, H. The isolator. *Sci. Invent.* **1925**, *13*, 214–281.
4. Brockwell, H. Forgotten genius: The man who made a working VR machine in 1957. *TechRadar* **2016**, *7*.
5. Mann, S. Smart clothing: The shift to wearable computing. *Commun. ACM* **1996**, *39*, 23–24

6. Meeker, M.; Wu, L. *Internet Trends 2018*; Kleiner Perkins: Menlo Park, CA, USA, 2018.
7. Hickey, A. The rise of wearables: From innovation to implementation. In *Digital Health*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2021; pp. 357–365
8. Yousif, M.; Hewage, C.; Nawaf, L. IOT technologies during and beyond COVID-19: A comprehensive review. *Future Internet* **2021**, *13*, 105.
9. Sengupta, J.; Baviskar, N.; Shukla, S. Biosignal acquisition system for stress monitoring. In Proceedings of the International Conference on Advances in Information Technology and Mobile Communication, Bangalore, India, 27–28 April 2012; pp. 451–458
10. Ren, P.; Barreto, A.; Huang, J.; Gao, Y.; Ortega, F.R.; Adjouadi, M. Off-line and on-line stress detection through processing of the pupil diameter signal. *Ann. Biomed. Eng.* **2014**, *42*, 162–176.
11. Raymond, J.; Varney, C.; Parkinson, L.A.; Gruzelier, J.H. The effects of alpha/theta neurofeedback on personality and mood. *Cogn. Brain Res.* **2005**, *23*, 2–3.
12. Cheol Jeong, I.; Bychkov, D.; Searson, P.C. Wearable devices for precision medicine and health state monitoring. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* **2018**, *66*, 1242–1258.
13. Taj-Eldin, M.; Ryan, C.; O'Flynn, B.; Galvin, P. A review of wearable solutions for physiological and emotional monitoring for use by people with autism spectrum disorder and their caregivers. *Sensors* **2018**, *18*, 4271.
14. Diaz-Romero, D.J.; Rincón, A.M.R.; Miguel-Cruz, A.; Yee, N.; Stroulia, E. Recognizing emotional states with wearables while playing a serious game. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **2021**, *70*, 1–12.
15. Zheng, W.-L.; Liu, W.; Lu, Y.; Lu, B.-L.; Cichocki, A. Emotionmeter: A multimodal framework for recognizing human emotions. *IEEE Trans. Cybern.* **2018**, *49*, 1110–1122.
16. Suiçmez, A.; Cengiz, T.; Odabas, M.S. An Overview of Classification of Electrooculography (EOG) Signals by Machine Learning Methods. *Gazi Univ. J. Sci. Part C Des. Technol.* **2022**, *10*, 330–338.
17. Buzsáki, G.; Anastassiou, C.A.; Koch, C. The origin of extracellular fields and currents—EEG, ECoG, LFP and spikes. *Nat. Rev. Neurosci.* **2012**, *13*, 407–420
18. Silva, F.L.d. EEG: Origin and measurement. In *EEg-fMRI*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2009; pp. 19–38
19. Nunez, P.L.; Srinivasan, R. *Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG*; Oxford University Press: New York, NY, USA, 2006; p. 178
20. Usakli, A.B. Improvement of EEG signal acquisition: An electrical aspect for state of the art of front end. *Comput. Intell. Neurosci.* **2010**, *2010*, 1–7.
21. Jackson, A.F.; Bolger, D.J. The neurophysiological bases of EEG and EEG measurement: A review for the rest of us. *Psychophysiology* **2014**, *51*, 1061–1071.
22. Lin, C.-T.; Liao, L.-D.; Liu, Y.-H.; Wang, I.-J.; Lin, B.-S.; Chang, J.-Y. Novel dry polymer foam electrodes for long-term EEG measurement. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* **2010**, *58*, 1200–1207.
23. Liu, N.-H.; Chiang, C.-Y.; Chu, H.-C. Recognizing the degree of human attention using EEG signals from mobile sensors. *Sensors* **2013**, *13*, 10273–10286.
24. Gil, H.; Gonçalves, V. The use of «Peak & Neuronation» digital applications for the inclusion of older adults: A case study at USALBI. In Proceedings of the 2017 International Symposium on Computers in Education (SIIE), Lisbon, Portugal, 9 November 2017; pp. 1–5.

25. İnce, R.; Adanır, S.S.; Sevmez, F. The inventor of electroencephalography (EEG): Hans Berger (1873–1941). *Child's Nerv. Syst.* **2021**, *37*, 2723–2724.
26. Brazier, M.A. The analysis of brain waves. *Sci. Am.* **1962**, *206*, 142–155.
27. Ferree, T.C.; Luu, P.; Russell, G.S.; Tucker, D.M. Scalp electrode impedance, infection risk, and EEG data quality. *Clin. Neurophysiol.* **2001**, *112*, 536–544.
28. Ros, T.; Moseley, M.J.; Bloom, P.A.; Benjamin, L.; Parkinson, L.A.; Gruzelier, J.H. Optimizing microsurgical skills with EEG neurofeedback. *BMC Neurosci.* **2009**, *10*, 1–10.
29. Stockman, C. Can a technology teach meditation? Experiencing the EEG headband interaxon muse as a meditation guide. *Int. J. Emerg. Technol. Learn. (Ijet)* **2020**, *15*, 83–99.
30. Liao, L.-D.; Lin, C.-T.; McDowell, K.; Wickenden, A.E.; Gramann, K.; Jung, T.-P.; Ko, L.-W.; Chang, J.-Y. Biosensor technologies for augmented brain–computer interfaces in the next decades. *Proc. IEEE* **2012**, *100*, 1553–1566.
31. Lystad, R.P.; Pollard, H. Functional neuroimaging: A brief overview and feasibility for use in chiropractic research. *J. Can. Chiropr. Assoc.* **2009**, *53*, 59.
32. Trainor, L.J.; Schmidt, L.A. *Processing Emotions Induced by Music*; Oxford University Press: New York, NY, USA, 2003; pp. 310–324.
33. Chen, Y.-H.; Sawan, M. Trends and challenges of wearable multimodal technologies for stroke risk prediction. *Sensors* **2021**, *21*, 460.
34. Preuschoff, K.; 't Hart, B.M.; Einhäuser, W. Pupil dilation signals surprise: Evidence for noradrenaline's role in decision making. *Front. Neurosci.* **2011**, *5*, 115.
35. Huang, M.X.; Kwok, T.C.; Ngai, G.; Chan, S.C.; Leong, H.V. Building a personalized, auto-calibrating eye tracker from user interactions. In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, San Jose, CA, USA, 7–12 May 2016; pp. 5169–5179.
36. Holmqvist, K.; Blignaut, P. Small eye movements cannot be reliably measured by video-based P-CR eye-trackers. *Behav. Res. Methods* **2020**, *52*, 2098–2121.
37. Blue, C. Utlizing eye-tracking technology and data to augment UX-UI web development curriculum. In Proceedings of the INTED2021 Proceedings, Online, 8–9 March 2021; pp. 424–430.
38. Rayner, K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychol. Bull.* **1998**, *124*, 372.
39. Guo, J.-J.; Zhou, R.; Zhao, L.-M.; Lu, B.-L. Multimodal emotion recognition from eye image, eye movement and EEG using deep neural networks. In Proceedings of the 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Berlin, Germany, 23–27 July 2019; pp. 3071–3074.
40. Møllenbach, E.; Lillholm, M.; Gail, A.; Hansen, J.P. Single gaze gestures. In Proceedings of the 2010 symposium on eye-tracking research & applications, Austin, TX, USA, 22–24 March 2010; pp. 177–180.
41. Champaty, B.; Jose, J.; Pal, K.; Thirugnanam, A. Development of EOG based human machine interface control system for motorized wheelchair. In Proceedings of the 2014 Annual International Conference on Emerging Research Areas: Magnetics, Machines and Drives (AICERA/iCMMD), Kottayam, India, 24–26 July 2014; pp. 1–7.
42. Ma, J.; Zhang, Y.; Cichocki, A.; Matsuno, F. A novel EOG/EEG hybrid human–machine interface adopting eye movements and ERPs: Application to robot control. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* **2014**, *62*, 876–889

43. Uema, Y.; Inoue, K. JINS MEME algorithm for estimation and tracking of concentration of users. In Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers, Maui, HI, USA, 11–15 September 2017; pp. 297–300.
44. Sonner, Z.; Wilder, E.; Heikenfeld, J.; Kasting, G.; Beyette, F.; Swaile, D.; Sherman, F.; Joyce, J.; Hagen, J.; Kelley-Loughnane, N. The microfluidics of the eccrine sweat gland, including biomarker partitioning, transport, and biosensing implications. *Biomicrofluidics* **2015**, *9*, 031301.
45. Taylor, N.A.; Machado-Moreira, C.A. Regional variations in transepidermal water loss, eccrine sweat gland density, sweat secretion rates and electrolyte composition in resting and exercising humans. *Extrem. Physiol. Med.* **2013**, *2*, 1–30.
46. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4862100/#:~:text=Biosensors%20are%20analytical%20devices%20that,temperature%20and%20should%20be%20reusable.
47. Giuliano K.A., Taylor D.L. Fluorescent-protein biosensors: new tools for drug discovery. *Trends Biotechnol.* 1998;16:135–140
48. https://encyclopedia.pub/entry/42080#:~:text=The%20sensors%20used%20for%20emotion,different%20applications%20in%20emotion%20recognition.
49. Bal, E.; Harden, E.; Lamb, D.; Van Hecke, A.V.; Denver, J.W.; Porges, S.W. Emotion recognition in children with autism spectrum disorders: Relations to eye gaze and autonomic state. J. Autism Dev. Disord. 2010, 40, 358–370.

користени линкови:

[i] https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4862100/#:~:text=Biosensors%20are%20analytical%20devices%20that,temperature%20and%20should%20be%20reusable.

[i] https://encyclopedia.pub/entry/42080#:~:text=The%20sensors%20used%20for%20emotion,different%20applications%20in%20emotion%20recognition.