

Vpliv posturalnih perturbacij na stresni odziv pri človeku

Effects of Postural Perturbations on Human Stress Response

Carolina Petrič

Laboratorij za nevromehaniko
in biorobotiko

Institut Jožef Stefan in,
Fakulteta za elektrotehniko
Univerza v Ljubljani
Ljubljana, Slovenija
carolina.petric@gmail.com

Jernej Čamernik

Laboratorij za nevromehaniko
in biorobotiko

Institut Jožef Stefan
Ljubljana, Slovenija
jernej.camernik@ijs.si

Gregor Geršak

Fakulteta za elektrotehniko
Univerza v Ljubljani
Ljubljana, Slovenija
gregor.gersak@fe.uni-lj.si

Jan Babič

Laboratorij za nevromehaniko
in biorobotiko

Institut Jožef Stefan
Ljubljana, Slovenija
jan.babic@ijs.si

POVZETEK

Namen tega dela je bil opazovati stresni odziv, ki se pojavi takoj po motnji stabilnosti. Zanimalo nas je i) kako se stresni odziv spreminja s spremembo smeri posturalne motnje in ii) če pride do prilagoditve po več (devetih) zaporednih posturalnih motnjah. Za oceno stresnega odziva smo uporabili meritev elektrodermalne aktivnosti. Analiza je pokazala, da se splošno vzburjenje ni spremenilo s spremembo začetne smeri motenj. Ko pa se je smer posturalne motnje spremenila iz naprej v nazaj, so se udeleženci odzvali hitreje in močneje. Pri ponavljajočih se posturalnih motnjah se je splošno vzburjenje zmanjšalo, udeleženci pa so se po deveti zaporedni motnji odzvali hitreje in močneje. Nobena sprememba v tej pilotni študiji ni bila statistično pomembna. Znanje, pridobljeno s tem delom, prispeva k boljšemu razumevanju stresnega odziva človeka na posturalne motnje.

KLJUČNE BESEDE

Elektrodermalna aktivnost (EDA), posturalne perturbacije, posturalne motnje, stresni odziv, motnje stabilnosti

ABSTRACT

The purpose of this work was to observe the human psychophysiological stress response, which occurs right after a stability disturbance. We were interested in i) how the stress response changes with the change in direction of a postural perturbation and ii) if there is any adaptation after several (nine) consecutive postural perturbations. Electrodermal activity was used to assess the stress response. The analysis showed that the general arousal did not differ with the change in the initial direction of perturbation. However, when the direction of postural perturbation was changed from forward to backward, subjects reacted faster and more strongly. In recurrent postural perturbations, general arousal decreases, and subjects respond faster and stronger after the ninth consecutive perturbation. Since this was a pilot study and only four healthy volunteers participated, none of these results were statistically significant. The knowledge gained from this work contributes to a better understanding of human stress response to postural perturbations.

KEYWORDS

Electrodermal activity (EDA), postural perturbations, stress response

1 UVOD

Zmožnost ohranjanja stabilne, pokončne drže med soočanjem z motnjami ravnotežja je kritična komponenta vsakdanjega življenja. Motnje ravnotežja so lahko zunanje (npr. neravna podlaga, slaba osvetljenost okolice, obutev) ali notranje (npr. stanje ravnotežnega organa, posledice starostnih degenerativnih bolezni, utrujenost, posledice zdravlil). Padci in poškodbe, povezane s padci, predstavljajo globalno skrb za javno zdravje naših starajočih se družb [1].

Za nadzorovanje stabilnosti in orientacije človeškega telesa skrbi posturalni nadzorni sistem. Posturalna orientacija je definirana kot sposobnost vzdrževanja primerne poravnave med deli telesa in poravnave telesa glede na okolje [2]. Posturalna stabilnost ali ravnotežje telesa je sposobnost nadzorovanja središča mase (ang. Centre of Mass – CoM) oz. projekcije CoM glede na podporno ploskev (ang. Base of Support – BoS) [2]. Podporna ploskev zajema območje pod predmetom ali osebo, ki vključuje vsako točko stika, ki jo predmet ali oseba naredi s podporno površino in vso površino vmes. Te točke stika so lahko deli telesa (npr. stopala ali roke) ali predmeti (npr. stol, na katerem oseba sedi) [3].

Center mase - CoM je definiran kot točka v središču celotne mase telesa [4]. Določimo ga kot uteženo povprečje centrov mas vseh segmentov telesa. CoM ni fizična spremenljivka, ampak virtualna točka v prostoru, ki je odvisna od položaja vseh delov telesa. CoM je ključna spremenljivka, ki jo nadzira posturalni nadzorni sistem [4].

Središče pritiska (ang. Centre of Pressure – CoP) je vsota vseh sil in navorov, ki jih povzroča telo na podporno površino [2]. Pri izgubi nadzora položaja telesa se projekcija CoM premakne iz mej podporne ploskve. Meje stabilnosti predstavljajo območje, znotraj katerega lahko telo ohrani stabilno lego brez dodatne spremembe BoS.

Predhodni dokazi kažejo, da se lahko po nestabilnosti pojavi simpatična modulacija, ki podpira hipotetično vključenost avtonomnega živčnega sistema (AŽS) v posturalno kontrolo [5, 6]. Simpatična modulacija oz. kompenzacijski posturalni odziv

je po motnji stabilnosti pomemben za ohranjanje ravnotežja in preprečevanje padca.

Avtonomni živčni sistem se deli na parasimpatično in simpatično živčevje. Fiziološke posledice aktivacije simpatičnega živčnega sistema so npr. pospešeno bitje srca, pospešeno in bolj globoko dihanje, razširjene zenice, povečan krvni tlak, upočasnjena presnova hrane, zakrčenost mišic ter povečana prevodnost kože [7]. Našteti pojavi so del stresnega odziva. Nacionalni inštitut za javno zdravje je stres definiral kot:

»... normalen odziv posameznika, kadar je začasno porušeno njegovo ravnovesje (telesno ali duševno) zaradi notranjih ali zunanjih vplivov (stresorjev). Stresorji so lahko pojavljajo v različnih oblikah. Lahko so manjši (npr. gneča na cesti) ali večji (npr. smrt v družini), zunanji (npr. kratek časovni rok za določeno delovno nalogo) ali notranji (npr. skrbi, črne misli), negativni (npr. prometna nesreča) ali pa celo pozitivni (npr. rojstvo otroka). Enak dogodek bo nekemu predstavljal stresor, drugemu pa spodbudo, odvisno od posameznikove osebnosti, izkušenj.« [8]

Kot stimulus, ki sproži stresni odziv opazovane osebe, lahko obravnavamo tudi posturalno motnjo, ki vpliva na premik osebe iz ravnotežja. V tej študiji nas je zanimalo, kakšni so psihofiziološki odzivi človeka ob nepričakovanih motnjah stabilnosti, da bi potrdili domnevno vključenost AŽS pri posturalnem nadzoru.

Oblikovali smo naslednji hipotezi: i) stresni odzivi se razlikujejo glede na začetno smer posturalne motnje (H1) in ii) stresni odziv se spremeni po več (devet) zaporednih motnjah enake amplitude in smeri (H2). Če bi hipotezi potrdili, bi pridobili še dodatne informacije o opazovani povezavi med stresom in posturalnim nadzorom. Ugotovili bi, kako sprememba smeri posturalne motnje in kako ponavljajoče posturalne motnje vplivajo na stresni odziv.

2 METODE

2.1 EKSPERIMENTALNI PROTOKOL

Štirje mladi odrasli (povprečna starost; standardni odklon (SD): 22,3 leta, SD = 2,4 leta), dva moška in dve ženski, so prostovoljno sodelovali pri eksperimentu. Vsi so bili zdravi, brez nevroloških in mišičnih posebnosti. Kandidati so bili seznanjeni s potekom meritev in podpisali so izjavo o prostovoljni in zavestni privolitvi po poučitvi.

Pred prihodom udeleženca sta bili izmerjeni temperatura in vlaga v prostoru (povprečna temperatura = 24,3 °C; STD: 0,5 °C, povprečna vlaga 42,2 %; SD = 1,9 %). Udeležence smo stehali (povprečna teža = 65,6 kg; SD = 14,3 kg) in nanje namestili merilno napravo za merjenje elektrodermalne aktivnosti (EDA) Shimmer GSR Plus (Shimmer Sensing, Dublin, Ireland. Frekvenca vzorčenja: 504,3 Hz). Elektrodi za merjenje EDA sta bili nameščeni na proksimalni prstnici kazalca in sredinca njihove nedominantne roke. Za preprečevanje motenj v signalu elektrodermalne aktivnosti zaradi drgnjenja prstov smo jim uporabljena prsta (sredinec in kazalec) stabilizirali z lepilnim trakom. Med nameščanjem merilnih naprav so udeleženci odgovorili na nekaj vprašanj o svojem splošnem počutju, kar jim je omogočilo, da so se lahko privadili na laboratorijsko okolje in prisotnost vseh naprav. Udeležencem smo namestili še prilagojen

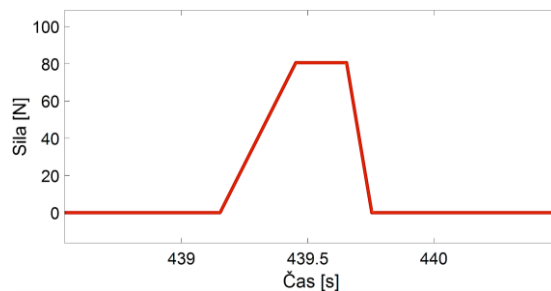
pas, ki omogoča priklop jeklenice. Jeklenica je bila del sistema za izvedbo posturalnih motenj z določeno silo, ki jo generirata dva električna servomotorja (Festo model EMMS-AS-100 z nazivnim navorom 5,69 Nm). V pasu je bil nameščen tudi aktivni optični marker, ki je bil del optičnega sistema Optotrak 3D Investigator (Northern Digital Incorporated, Kanada. Frekvenca vzorčenja: 1000 Hz), s katerim ocenjujemo položaj približka centra mase udeleženca.

Pred začetkom eksperimenta smo vsem udeležencem podali enotna navodila o njihovi nalogi, ki je bila, da v primeru posturalne motnje poizkusijo ohraniti svoj položaj na mestu, kjer stojijo. Merjenje se je začelo z dvominutno stoji na dveh pritiskovnih ploščah (Kistler Instrumente AG, Winterthur, Switzerland. Frekvenca vzorčenja: 1000 Hz) za zajem začetnega stanja. Prva motnja (prvi poteg jeklenice) je bila prožena ročno, ko smo sami ocenili, da je vrednost signala EDA, izrisana v realnem času, razmeroma konstantna (ni več sunkovito naraščala ali padala). Vsaka naslednja motnja je bila ročno prožena, ko se je udeleženec umiril (relativno gledano glede na začetno stanje vrednosti EDA). Motnje so bile izvedene v smeri naprej – nazaj. Vsi udeleženci so skupno prejeli deset motenj. Smer začetne sile je bila naključna, dva udeleženca sta začela z motnjami naprej in dva nazaj. Preostalih devet motenj je bilo izvedenih v nasprotno smer od tiste, s katero so udeleženci začeli.

Profil generirane sile električnih servomotorjev, prikazan na sliki Slika 1, smo časovno razdelili na tri dele v razmerju 3:2:1, kjer v prvem delu sila narašča, v drugem delu je konstantna in v tretjem pojema. Amplituda sile je določena z enačbo:

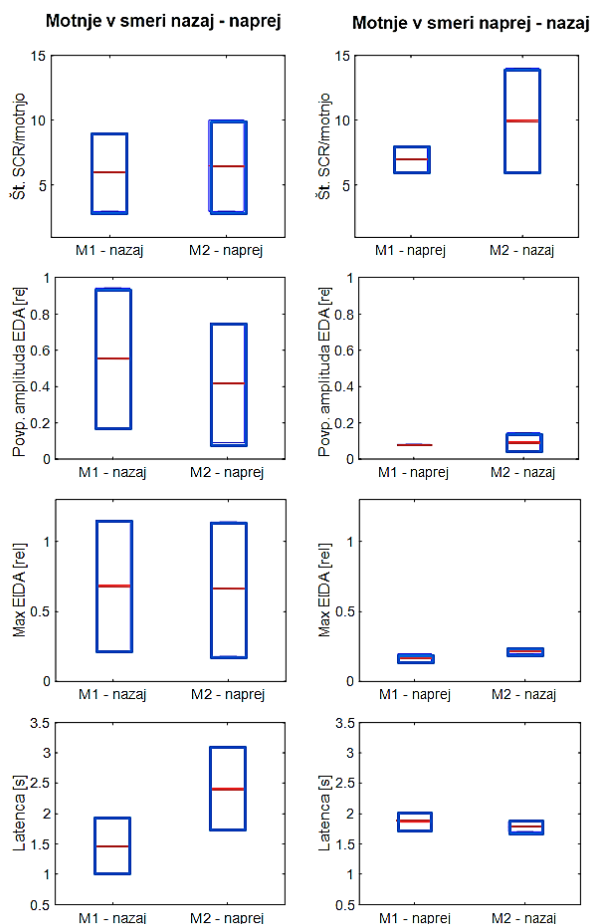
$$F = m * g * k = m * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,11, \quad (1)$$

kjer F predstavlja amplitudo sile v N, m je masa v kg, g je gravitacijski pospešek v m/s^2 , k pa koeficient, ki predstavlja delež telesne mase preiskovanega udeleženca in je brez enote.



Slika 1: Profil uporabljene sile generirane na električnih servomotorjih.

Konstanta 0,11 izhaja iz ugotovitev študije [9], kjer so izvajali podobne posturalne motnje in uporabili koeficiente od 2,75 % do 22 % telesne mase. V rezultatih so predstavili, pri katerem koeficientu mora po povzročeni sili oseba narediti korak, da ohrani ravnotežje. Mejna vrednost, ko osebi še ni potrebno narediti koraka, je glede na njihove ugotovitve znašala 0,11 za motnje v smeri naprej. Za motnje v smeri nazaj smo sami preverili mejno vrednost po principu preizkušanja, ki pa se je izkazala za identično smeri naprej. Izbrani vrednosti koeficientov za smeri naprej in nazaj $k(\text{naprej}) = 0,11$, $k(\text{nazaj}) = -0,11$.

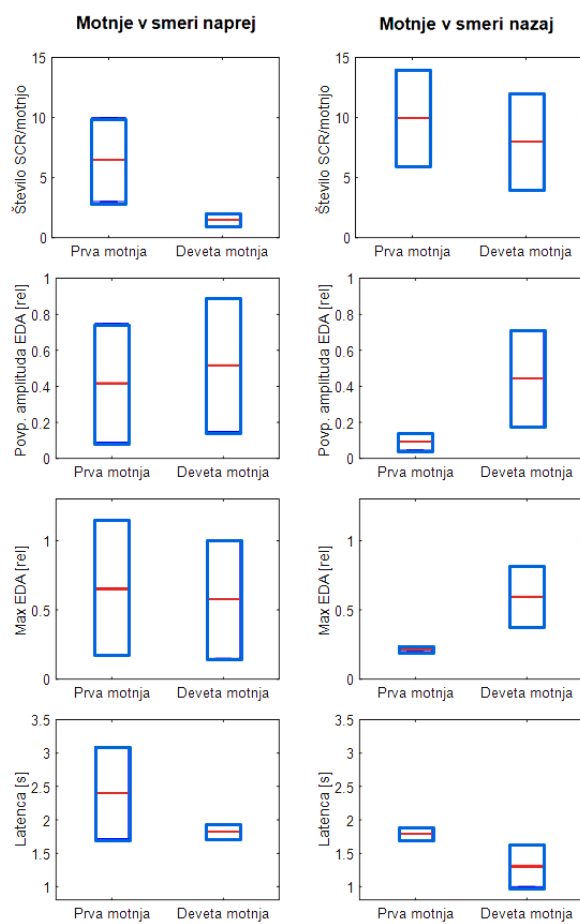


Slika 2: Rezultati analize EDA pri protokolu menjava smeri motnje.

2.2 OBDELAVA PODATKOV IN ANALIZA

Merilnik Shimmer GSR+ za merjenje EDA zajema upornost kože v k Ω , zato smo najprej naredili pretvorbo upornosti v prevodnost (v μ S). To smo naredili zato, ker je prevodnost v μ S standardna veličina za opazovanje stresnega odziva. Zaradi razlik v tonični komponenti, ki so posledica različnih medosebnih lastnosti, smo celoten signal EDA normirali na začetno vrednost. Vzorčna frekvenca, ki smo jo uporabili za zajem tega signala, je bila 1000 Hz, nato smo jo pred začetkom analize zmanjšali na 100 Hz. Sledi segmentacija glede na dovedene posturalne motnje. Segment je bil definiran kot območje od začetka motnje do začetka naslednje motnje.

Za nadaljnjo analizo smo uporabili program Acqknowledge 4.1 (Biopac Systems Inc., USA), ki nam omogoča takojšnji izris, raznovrstne transformacije in specifične analize različnih bioloških signalov. Najprej smo ločili signal na fazično in tonično komponento s funkcijo »Derive Phasic EDA from Tonic«, ki uporabi visokoprepustni filter z mejno frekvenco 0,05 Hz, da pridobi novo fazično komponento iz podanega začetnega toničnega signala [10]. Uporabili smo algoritem »Locate SCR«, ki na podlagi pragovne vrednosti signala (v našem primeru 0,02 μ S) v fazični komponenti poišče odzive prevodnosti kože (SCR), ki so definirani od trenutka, ko pulz EDA prekorači to pragovno vrednost v omejenem časovnem intervalu (npr. pulzi, ki se



Slika 3: Rezultati analize EDA pri protokolu ponavljajoče motnje.

pojavi v manj kot 9 s od začetka naraščanja) pa do padca na vrednost nič. Nastavili smo tudi zavračanje vrhov, ki so manjši od 10 % največjega vrha. Parametri, ki smo jih pridobili za posamezno opazovano motnjo:

- Število SCR-jev na motnjo je mera trenutnega vzburjenja udeleženca in je število vrhov signala prevodnosti kože. Vrednost nekaj SCR/min nakazuje, da je udeleženec miren, vrednost nad približno 20 SCR/min pa nakazuje na stanje vzburjenosti [11].
- Latenca je časovno trajanje med začetkom dražljaja in začetkom prvega odziva SCR (v sekundah).
- Amplituda SCR je razlika med največjo vrednostjo, ki jo doseže posamezen vrh, in vrednostjo pred začetkom odziva oz. naraščanja signala EDA. Išče povprečno in največjo amplitudo.

3 REZULTATI

3.1 Vpliv spremembe smeri posturalne motnje na stresni odziv

Za preverjanje H1 smo prvo in drugo motnjo izvedli v različnih, nasprotujočih si smereh. Dva udeleženca sta začela z motnjo v smeri naprej, nato pa sta prešla vse preostale motnje v smeri nazaj. Preostala dva udeleženca sta naredila ravno obratno. Na

sliki Slika 2 so prikazani rezultati analize EDA pri protokolu menjava smeri motnje. Prva vrsta prikazuje število odzivov prevodnosti kože (SCR) [št. SCR/motnjo], druga vrsta prikazuje povprečno amplitudo odzivov prevodnosti kože (SCR) [μ S], tretja vrsta prikazuje največjo amplitudo odzivov prevodnosti kože (SCR [μ S]), četrta pa latenco [s] prvega odziva SCR. Vsi grafi prikazujejo vrednosti, ločene za prvo in drugo dovedeno motnjo. Parametri v prvem stolpcu so rezultati udeležencev, ki so prejeli prvo motnjo v smeri nazaj. Drugi stolpec vsebuje rezultate udeležencev, ki so prejeli prvo motnjo v smeri naprej.

Stopnja splošne psihofiziološke vzbujenosti se s spremembo smeri začetne motnje ni razlikovala. Kljub temu pa vidimo, da so se udeleženci ob spremembi naprej – nazaj pri drugi motnji hitreje in močnejše odzvali, na kar nakazuje zmanjšana latenca in večja vrednost stresnega odziva.

3.2 Vpliv ponavljajočih posturalnih motenj na stresni odziv

Na vsakega udeleženca je bilo v eni smeri (naprej ali nazaj) izvedenih devet zaporednih posturalnih motenj iste amplitude, za preverjanje H2. Ker je bila med prvo in drugo motnjo prisotna sprememba smeri, smo za analizo ponavljajočih se motenj iste smeri vzeli drugo in deseto izmed vseh motenj, ki predstavljata prvo in deveto motnjo v isto smer (naprej ali nazaj). Na sliki **Error! Reference source not found.** so prikazani rezultati analize EDA pri protokolu ponavljajoče motnje. Prva vrsta prikazuje število odzivov prevodnosti kože (SCR) [št. SCR/motnjo]. Druga vrsta prikazuje povprečno amplitudo odzivov prevodnosti kože (SCR) [μ S]. Tretja vrsta prikazuje največjo amplitudo odzivov prevodnosti kože (SCR [μ S]). Četrta vrsta prikazuje latenco [s] prvega odziva SCR. Vsi grafi prikazujejo vrednosti ločeno za prvo in drugo dovedeno motnjo. Parametri v prvem stolpcu so rezultati udeležencev, ki so prejeli ponavljajoče motnje v smeri naprej. Drugi stolpec vsebuje rezultate udeležencev, ki so prejeli ponavljajoče motnje v smeri nazaj.

Splošna vzbujenost se je po devetih zaporednih motnjah zmanjšala ne glede na smer perturbacije. Zmanjšanje splošne vzbujenosti je bilo manjše ob perturbacijah v smeri nazaj. Udeleženci so se hitreje in močnejše odzvali na stimulus po deveti zaporedni motnji, na kar nakazujejo povišana povprečna in največja amplituda ter zmanjšana latenca.

4 RAZPRAVA

Rezultati prvega dela nakazujejo, da so bili udeleženci po drugi motnji bolj vzburjeni, če so najprej izkusili posturalno motnjo v smeri naprej in nato še v smeri nazaj. Sklepamo, da je vzbujenost narasla po motnji v smeri nazaj, zato ker udeleženci niso imeli vizualnega nadzora nad okolico v smeri premika. Vizualni nadzor (vid) zagotavlja dodatne informacije o dogajanju v okolici. Iz rezultatov drugega dela sklepamo, da se po deveti zaporedni posturalni motnji vidi adaptacijo udeležencev na to posturalno motnjo. Zaradi majhnega števila udeležencev v tem pilotskem eksperimentu so naši rezultati omejeni in niso bili statistično značilni. Nekateri parametri sicer nakazujejo razlike med spremembo smeri posturalne motnje in izvajanjem več zaporednih posturalnih motenj, vendar ne moremo nobene hipoteze potrditi ali ovreči. Z eksperimentom

smo nakazali smernice za nadaljnje raziskave. Za zanesljivejšo in bolj statistično značilno študijo bomo testirali več oseb. Eksperiment bi v prihodnje lahko razširili še z motnjami v smeri levo-desno in tako upoštevali, da se oseba v realnem okolju giblje v vseh smereh. Znanje o spremembah stresnega odziva med soočanjem s posturalnimi motnjami lahko prispeva k izboljšavi aplikacij meritev stresa v realnem okolju in odpira nove možnosti uporabe ter razumevanja človeškega telesa.

ZAHVALA

To delo je bilo financirano iz programa EU za raziskave in inovacije H2020 (št. 731540, An.Dy).

LITERATURA

- [1] W. H. Organization, "Falls," 2018. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>. [Accessed: 05-Jun-2019].
- [2] D. A. Winter and PEng, "Human balance and posture control during standing and walking," *Gait Posture*, vol. 3, no. 4, pp. 193–214, Sep. 1995, doi: 10.1016.
- [3] Physiopedia, "Base of Support." [Online]. Available: https://www.physio-pedia.com/Base_of_Support. [Accessed: 31-May-2019].
- [4] A. P. Shumway-Cook and M.H. Woollacott, *Motor control: translating research into clinical practice*, 4th ed. 2012.
- [5] B. E. Maki and R. S. Whitelaw, "Influence of expectation and arousal on center-of-pressure responses to transient postural perturbations," *J. Vestib. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 25–39, 1993.
- [6] K. Sibley, "Autonomic Contributions in Compensatory Balance Control," 2009.
- [7] Elaine Nicpon Marieb, *Human Anatomy & Physiology*, 7th ed. New York: Pearson Prentice Hall, 2007.
- [8] Nacionalni inštitut za javno zdravje, "Stres," 2014. [Online]. Available: <https://www.nijz.si/sl/stres>. [Accessed: 30-May-2019].
- [9] J. Camernik, M. Azad, L. Pernel, Z. Potocanac, and J. Babič, "Staying on your feet: the effectiveness of posture and handles in counteracting balance perturbation," *Ergonomics*, vol. 62, no. 5, pp. 657–667, 2019, doi: 10.1080/00140139.2018.1559363.
- [10] J. Mariah Kremer, A. J. Macy, E. Peterlin, and B. Systems, "AcqKnowledge ® 4 Software Guide For Life Science Research Applications Data Acquisition and Analysis with BIOPAC Hardware Systems Reference Manual for AcqKnowledge ® 4." Biopac Systems, Inc., p. 805, doi: 10.7-10.11.
- [11] S. Ranogajec and G. Geršak, "Measuring site dependency when measuring skin conductance," *Proc. Twenty-third Int. Electrotech. Comput. Sci. Conf.*, pp. 155–158, 2014.