

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24770237

研究課題名(和文)皮膚電気活動による精神的ストレス評価方法

研究課題名(英文)Assessment method of mental stress with electrodermal activity

研究代表者

下村 義弘(Shimomura, Yoshihiro)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60323432

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、精神性発汗に伴う皮膚電気活動(EDA)を用いた精神的ストレスの評価方法を確固たるものにするのであった。EDAのキャパシタンス(容量成分)と直流コンダクタンス(抵抗成分の逆数)に注目した。ストレス負荷に対する有意な応答と低い変動係数から、キャパシタンスの有効性が示された。さらに個人間の再現性の低さは、手厚とタイプA行動パターンに起因することが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The aim of present study was to develop the assessment method of mental stress by using palmar electrodermal activity related to the mental sweating. The effectiveness of capacitance compared to the conductance was shown with the significant responses to stress loads and lower coefficient of variance. Furthermore, less reproducibility between subjects was caused by the palmar thickness and the score of type A behavior pattern.

研究分野：生理人類学

キーワード：精神的ストレス ストレス評価 精神性発汗 皮膚電気活動

1. 研究開始当初の背景

皮膚電気活動 (Electro-dermal activity ; EDA) はコリン作動性の交感神経系支配の汗腺活動を反映しており、手掌部の精神性発汗による EDA を計測することで精神的ストレスを評価する試みが多くなされてきた。

Boucsein と Thum (1997) は EDA の平均振幅に注目し、業務中の定時ではない突発的休憩時にストレスが抑えられることを明らかにした。Williams ら (2004) は、皮膚コンダクタンスの一過性変動である棘波様波形に対して S 字指数関数を当てはめ、その振幅により、恐怖を表わす表情の画像刺激によるストレスを評価した。西尾ら (2001A,B) は運転作業時の皮膚抵抗を計測し、棘波様の一過性変動成分 (phasic response component) と持続的変動成分 (tonic level component) に別々に注目し、一過性では出現頻度 (回数) 持続性では水準の平均値をストレス評価に用いた。これに対して Shimomura ら (2008) は FFT (周波数解析) を用いた半自動的な解析方法を提案した。しかしこれは波形の定常性、すなわち同様のストレスが繰り返し周期的にかかることを前提としている。従って実験室実験のように “整ったストレス” 環境でなければ利用することは難しいという限界があった。EDA には、このように持続的か一過性か、あるいは皮膚の電気的な抵抗が電導度か、などの様々な測定・解析の方法論があり方法論としては定まっていない。

さらに手掌部の精神性発汗は Shimomura ら (2008) や Kobayashi ら (2002) など多くの研究者が言及しているように、発汗があるにも関わらず一過性変動の EDA 波形が観測されない被験者が半数程度も存在する。また稲光 (2003) によるように、手掌多汗症の病型が、I 型は精神的ストレスに随時反応するタイプ、II 型はストレスに対して無反応だが突然多量の汗をかくタイプ、III 型は反応が一定ではないタイプと、類型化することができると報告されている。落下の恐怖と姿勢制御の関連を検討した研究 (Davis ら, 2009) では、若年被験者 36 人のうち 8 人は EDA の計測ができなかった。また状態不安と EDA に有意な相関が見られた。視覚課題にネガティブワードとニュートラルワードを聞かせたデュアルタスク中の皮膚電気反応についての研究 (Naveteur ら, 2005) では、特性不安の高低で EDA の反応が異なった。このように個人特性が関与する可能性が様々な研究で示唆されているが、いずれもタスクに対する生理的反応を定量化する手段として EDA を使った際に得られた知見に限られており、EDA そのものの方法論の構築を目的としていないため、一般化が難しいのが現状であった。

2. 研究の目的

本研究では、皮膚の電気抵抗成分に限定しない一般的な電気的特性であるインピーダンスに注目した。これは、皮膚などの生体の

電気的等価回路は抵抗成分と容量成分が直並列接続されたもの (Lykken, 1970) とみなすことができ、直流抵抗成分に加えて容量成分による交流印加時の抵抗成分が存在するためである (図 1)。また被験者特性としては精神的状況と生体反応に関連すると思われる性格傾向や、生体の電気的特性に関連すると思われる体格パラメータに注目した。

本研究の目的は、これらをパラメータとする実験を行って新しい EDA の測定方法を開発し、被験者特性との関係を説明し EDA によるストレス評価方法を確固たるものにするのであった。

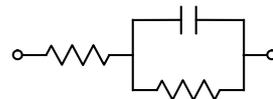


図 1 生体の電気的等価回路
皮膚には純抵抗成分と容量成分が存在する。

3. 研究の方法

基本的な実験手法は、一般的な皮膚コンダクタンス、すなわち直流の純抵抗成分の測定装置やインピーダンス測定装置を用いて、精神性発汗が誘発される状況を安静時と比較、検定するものであった。また被験者に固有で数値化されうる特性として特性・状態不安点数やタイプ A 行動パターン点数、身長や手の形態の大きさなどを用いて、測定結果に影響を及ぼす、つまり相関が高い要因を見出すものであった。

4. 研究成果

(1) 実験 1 の方法と結果

精神性発汗に伴う EDA のインピーダンスによる基本的評価方法を検討した。一般的にインピーダンスはリアクタンスのうち生体のように誘導成分が無い場合は抵抗成分 Z' と容量成分 Z'' から、周波数を f とすると $Z(f) = Z' - jZ''(f)$ と複素表示される。インピーダンスは LCR メータ (Wayne Kerr Electronics 製 6430B Precision Component Analyzer) を用いて、貼付式皮膚表面電極 (日本光電工業社製、ディスク電極 P ビットロード) および十分にインピーダンスが低いケルビンクリップを介して測定した。LCR 計測ソフトウェア (Wayne Kerr Electronics 製、WITNESS-6000) を用いて周波数スイープや解析表示を行い、Cole-Cole プロットが得られた。実験 1 では 20-200 kHz の範囲の周波数スイープにより、安静時と息こらえによる精神性発汗誘導時を 1 名の被験者で交互に測定し、その再現性を定性的に確認した。その結果、条件間でインピーダンスが実部、虚部ともに大きく変動し (図 2) その指標としての有効性が示唆された。

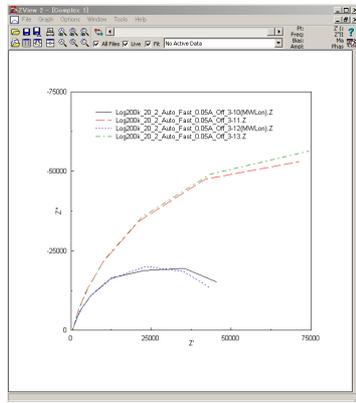


図2 測定結果例

20-200 kHz の範囲で周波数スイープにより得られた Cole-Cole プロット。横軸は抵抗成分、縦軸は容量成分。黒および青は息こらえによる精神性発汗誘導時、赤および緑は安静時で交互に2回ずつ繰り返し測定した例。

(2) 実験2の方法と結果

大学生・大学院生 15 名 (男性 7 名、女性 8 名) が実験に参加した。精神性発汗は性差は小さいが加齢により減少すると考えられているため (『精神性発汗現象-測定法と臨床的应用-』) 本研究では世代をそろえた。EDA として周波数スイープによるインピーダンス虚部 Z'' と一般的な直流コンダクタンスを測定した。直流コンダクタンスは直流通電型のアンプ (BIOPAC System 製、BN-PPGED) と専用ケーブル、実験 1 と同様のディスプレイ電極を用い、A/D 変換機 (BIOPAC System 製、MP150) および波形解析ソフト (BIOPAC System 製、Acqknowledge 4.2) により測定した。 Z'' の測定周波数は 50-200 kHz 間の対数間隔 38 ポイントとした。EDA は安静と刺激を 1 試行として 4 試行繰り返した。精神性発汗誘発刺激として、30 秒間のバルサルバタスク (息こらえ) を行った。実験の様子を図 3 に示す。



図3 実験風景

被験者特性として、身長、体重、特性不安点数 (State-Trait Anxiety Inventory: STAI)、タイプ A 行動パターン点数 (A 型傾向判別表)

手の皮脂厚、手厚を測定した。

その結果、コンダクタンスと周波数 200 kHz と 158 kHz での Z'' の各平均値は安静に対してタスク時に有意に大きかった。 Z'' の変動係数は安静および刺激時を含めて 15.8 kHz 以下において皮膚コンダクタンスのそれより小さかった (図 4)。また 63.1-251 Hz での Z'' とタイプ A 行動パターン点数に強い正の相関 ($r = 0.7$) があった。より広い 50 Hz-7.94 kHz での Z'' と手厚に弱い正の相関 ($0.7 > r = 0.4$) があった。

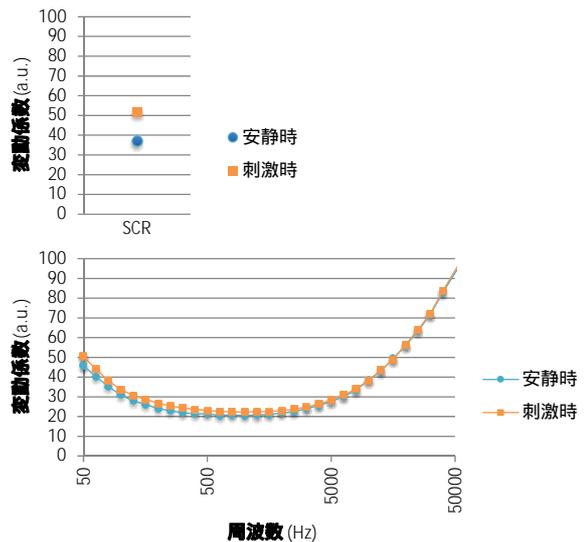


図4 実験2における変動係数コンダクタンス (上) とインピーダンス虚部 (下) の変動係数。

(3) 実験3の方法と結果

第3実験では被験者は 10 名であった。被験者は第2実験の被験者から無作為に抽出した。EDA として実験2と同様に周波数スイープにより複素インピーダンス Z'' のキャパシタンスと直流コンダクタンスを測定した。実験2の結果から、およそ 10 kHz 以上の周波数は有意性が低いと考えられたため、周波数を 50 Hz-10 kHz 間の 25 ポイントとした。精神性発汗誘発刺激として 30 秒間のバルサルバタスクを行った。被験者は、実験者の声かけによって大きく息を吸い、口を閉じた時点から 30 秒間息をこらえた。安静と刺激 (タスク) を 1 試行として計 6 試行行った (図 5)。



図5 実験3の流れ

被験者特性は、体格的パラメータとして身長、体重、皮脂厚、手厚を測定した。また性格傾向として、特性・状態不安点数 (STAI) とタイプ A 行動パターン点数を測定した。タイプ A 行動パターン点数については、実験 2 で用いた A 型傾向判別表では得られた数値のレンジが狭かったため実験 3 では東海大式生活健康調査表を用いた。実験 2 では実験時の手の乾湿状態などの統制が厳しくなかったため、実験 3 では実験開始前に手の洗浄と拭き取りを行い、刺激間の安静時間を十分にとるなど、再現性を高めるために一層の注意を払った。シールドルームを用いて周辺騒音および外来ノイズを遮断し、室温は 23 度 (Winterhalter ら、2007) 一定に調節した。照度は 70 lx であった。実験 3 における測定装置はそれまでの実験と同様だが、インピーダンスについては後の応用を考慮して、生体の等価回路として抵抗と電気容量の並列モデルを適用してキャパシタンスを求め、これを解析に使用した。測定は右手と左手でそれぞれコンダクタンスとキャパシタンスとし、被験者ごとにこれを入れ替え手の左右差を相殺した。

その結果、直流コンダクタンスには安静時と刺激時で有意差はなかった (図 6) が、10 kHz、6.31 kHz、126 Hz-1 kHz、50.1 Hz-63.1 Hz でのキャパシタンスに有意差があった (図 7)。

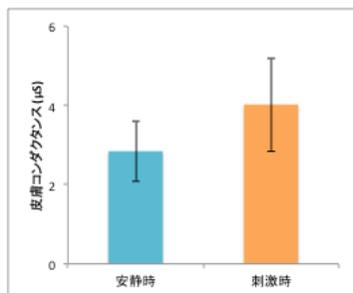


図 6 コンダクタンスの結果

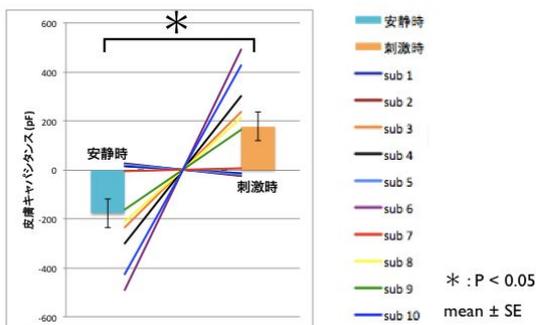


図 7 キャパシタンス (200 Hz) の結果

キャパシタンスの変動係数 (図 8) は全周波数でコンダクタンスよりも十分小さく、実験 2 のインピーダンス虚部よりも小さかった。相関分析では、コンダクタンスでは体重などの体格パラメータと安静時の特性不安点数

と強い正の相関 ($r = 0.7$) があった。キャパシタンスでは周波数 1kHz-50 Hz で手厚と強い正の相関があった。また全周波数においてタイプ A 行動パターン点数と弱い正の相関 ($0.7 > r = 0.4$) があった (表 1)。安静と刺激の差に対しては、キャパシタンスの手厚との相関は多くの周波数において認められず、タイプ A 行動パターン点数との相関も 200 Hz でのみ認められた。

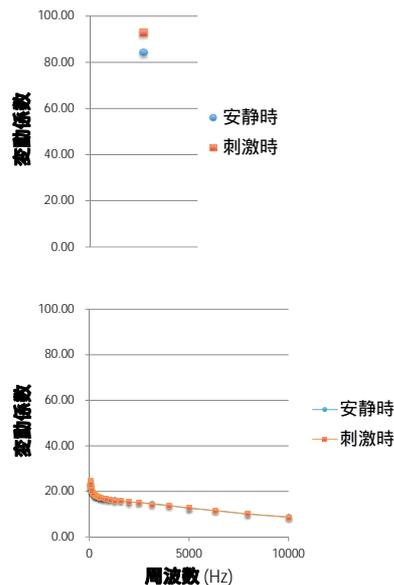


図 8 実験 3 における変動係数
コンダクタンス (上) とキャパシタンス (下)
の変動係数。

(4) 成果のまとめ

精神的ストレス評価方法として、従来の直流コンダクタンスは様々な体格や特性不安の影響を受けるため変動係数が大きく、測定の再現性に乏しいことが明らかとなった。安静時と刺激時の測定値に有意差がありかつ変動係数が小さく、さらに体格パラメータによる影響が小さいものとして、コンダクタンスよりもキャパシタンスが適していることが明らかとなった。またその測定に適した周波数は 1000-126、63.1-50.1 Hz であると考えられた。

キャパシタンスにおける手厚との相関は電流到達深度による影響と考えられるが、皮下の電気的特性が一定と考えると安静からの変化量を分析対象とすることでキャンセルが可能と考えられる。またタイプ A 行動パターンによる影響は 200 Hz と例えば 50 Hz など 200 Hz を含む複数の帯域で測定しさらに変化量とすることで、影響の有無を統制できると考えられる。

結論として、精神的ストレス評価方法として手掌のキャパシタンスを用いた場合、従来の直流コンダクタンスよりも小さい変動で測定することができる。また絶対値における個人間の再現性の低さの要因は手厚とタイ

プA 行動パターン点数であり、これらは安静に対する差をとることや周波数を適切に選択することによって、その影響を統制することができる。

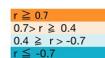
今後はキャパシタンスとタイプA 行動パターンの特定周波数における相関について、さらなる研究が必要である。

表 1 各周波数において測定されたキャパシタンスと被験者の体格および性格傾向の各パラメータとの相関分析結果。SCR はコンダクタンスを示す。

周波数 (Hz)	10000	7940	6310	5010	3980	3160	2510
身長	安静	0.09	0.17	0.22	0.25	0.27	0.30
	刺激	0.06	0.16	0.22	0.25	0.29	0.30
体重	安静	-0.21	-0.15	-0.10	-0.07	-0.04	-0.02
	刺激	-0.24	-0.16	-0.11	-0.07	-0.03	-0.01
BMI	安静	-0.36	-0.33	-0.30	-0.26	-0.26	-0.24
	刺激	-0.37	-0.34	-0.31	-0.29	-0.26	-0.25
右手皮脂厚	安静	-0.18	-0.19	-0.20	-0.18	-0.17	-0.21
	刺激	-0.17	-0.16	-0.19	-0.20	-0.20	-0.21
右手厚	安静	0.45	0.52	0.57	0.59	0.61	0.63
	刺激	0.43	0.52	0.56	0.59	0.62	0.63
左手皮脂厚	安静	-0.03	-0.09	-0.16	-0.19	-0.21	-0.22
	刺激	-0.02	-0.09	-0.15	-0.20	-0.23	-0.25
左手厚	安静	0.11	0.21	0.29	0.33	0.36	0.42
	刺激	0.09	0.21	0.28	0.33	0.38	0.41
特性不安点数	安静	-0.30	-0.23	-0.17	-0.15	-0.12	-0.10
	刺激	-0.30	-0.23	-0.18	-0.15	-0.12	-0.11
状態不安点数	安静	0.40	0.40	0.38	0.37	0.34	0.37
	刺激	0.40	0.39	0.37	0.36	0.35	0.34
A型傾向点数	安静	0.51	0.56	0.57	0.59	0.58	0.60
	刺激	0.50	0.56	0.57	0.58	0.59	0.59

2000	1580	1260	1000	794	631	501	398	316	251	200
0.33	0.36	0.38	0.40	0.41	0.44	0.4629	0.4949	0.5112	0.5324	0.5549
0.34	0.35	0.37	0.40	0.43	0.44	0.4636	0.4864	0.5109	0.5386	0.5582
0.03	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.1765	0.2131	0.2436	0.2779	0.3148
0.01	0.04	0.06	0.08	0.12	0.14	0.1725	0.2052	0.2407	0.2844	0.3158
-0.21	-0.21	-0.19	-0.17	-0.15	-0.13	-0.097	-0.07	-0.039	-0.006	0.0287
-0.24	-0.21	-0.20	-0.18	-0.15	-0.13	-0.106	-0.077	-0.045	-0.004	0.0259
-0.20	-0.21	-0.21	-0.22	-0.23	-0.24	-0.246	-0.262	-0.266	-0.271	-0.282
-0.21	-0.20	-0.22	-0.23	-0.24	-0.24	-0.252	-0.262	-0.275	-0.287	-0.294
0.67	0.68	0.69	0.71	0.72	0.74	0.7535	0.7746	0.7849	0.7979	0.8093
0.65	0.66	0.68	0.70	0.72	0.73	0.7446	0.7588	0.7746	0.7905	0.8019
-0.29	-0.30	-0.31	-0.33	-0.35	-0.36	-0.384	-0.409	-0.422	-0.438	-0.455
-0.28	-0.29	-0.32	-0.34	-0.36	-0.37	-0.394	-0.411	-0.431	-0.448	-0.467
0.44	0.46	0.48	0.51	0.53	0.55	0.5772	0.6074	0.6273	0.6514	0.675
0.44	0.46	0.48	0.50	0.54	0.55	0.5781	0.6013	0.6265	0.653	0.6754
-0.07	-0.04	-0.03	0.01	0.03	0.03	0.05	0.0949	0.1148	0.1398	0.1683
-0.07	-0.06	-0.04	-0.02	0.02	0.03	0.0531	0.0772	0.1049	0.1369	0.1626
0.34	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.3544	0.362	0.3586	0.3559	0.353
0.34	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34	0.3373	0.3377	0.3385	0.3418	0.3391
0.59	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.6177	0.6226	0.6178	0.614	0.6068
0.61	0.60	0.61	0.61	0.62	0.62	0.6179	0.6173	0.6136	0.611	0.6046

158	126	100	79.4	63.1	50.1	50	SCR
0.5791	0.6008	0.6217	0.6232	0.6403	0.6468	0.6561	0.78
0.581	0.598	0.6024	0.6259	0.6385	0.6503	0.6723	0.70
0.3557	0.3671	0.4459	0.4434	0.49	0.5038	0.5276	0.85
0.3541	0.3895	0.4252	0.4488	0.481	0.52	0.5469	0.73
0.3694	0.0865	0.166	0.1598	0.2141	0.2287	0.2572	0.61
0.0624	0.1011	0.1465	0.1637	0.2016	0.2483	0.2691	0.51
-0.291	-0.301	-0.316	-0.32	-0.326	-0.321	-0.331	-0.31
-0.305	-0.304	-0.455	-0.326	-0.314	-0.323	-0.322	-0.41
0.8226	0.8328	0.8417	0.8338	0.8328	0.8359	0.8368	0.64
0.8121	0.8194	0.7785	0.8267	0.8342	0.8323	0.8401	0.65
-0.472	-0.467	-0.498	-0.505	-0.518	-0.51	-0.516	-0.52
-0.483	-0.492	-0.498	-0.509	-0.522	-0.537	-0.541	-0.50
0.6999	0.7192	0.736	0.7418	0.7619	0.7658	0.7752	0.75
0.6975	0.7176	0.6884	0.7407	0.7641	0.7748	0.7818	0.65
0.198	0.2261	0.2555	0.2644	0.296	0.3073	0.3253	0.72
0.1924	0.2182	0.2545	0.2631	0.2889	0.3112	0.3425	0.52
0.3532	0.3552	0.355	0.3418	0.3246	0.3314	0.3246	0.32
0.3588	0.3344	0.3618	0.333	0.3196	0.3068	0.3205	0.27
0.5997	0.5976	0.5738	0.5671	0.5404	0.5428	0.525	0.31
0.596	0.5887	0.5043	0.5647	0.5491	0.5224	0.5328	0.30



参考文献

Boucsein W, Thum M (1997) Design of work/rest schedules for computer work based on psychophysiological recovery measures. International Journal of Industrial Ergonomics 20: 51-57

Williams LM, Brown KJ, Das P, Boucsein W, Sokolov EN, Brammer MJ, Olivieri G, Peduto A, Gordon E (2004) The dynamics of cortico-amygdala and autonomic activity over the experimental time course of fear perception. Cognitive Brain Research 21: 114-123

西尾恭幸, 2001: 3 電極方式皮膚インピーダンス計の開発と精神負担評価への応用, ヒューマンインタフェース学会論文誌

3(1), pp31-38.
西尾恭幸, 小島康一, 2001: 実車走行時に適した覚醒度判定システムの開発, システム制御情報学会論文誌 14(9)

Shimomura Y, Yoda T, Sugiura K, Horiguchi A, Iwanaga K and Katsuura T (2008) Use of frequency domain analysis of skin conductance for evaluation of mental workload: Journal of Physiological Anthropology, Vol.27, No.4, pp.173-177

Kobayashi M, Tomioka N, Ushiyama Y, Ohhashi T (2002) Arithmetic calculation, deep inspiration or handgrip exercise-mediated pre-operational active palmar sweating responses in humans. Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical 104: 58-65

稲光哲明, 2003; 心理面から見た手掌多汗症の診断と治療, 発汗学 10, pp25-29.

Davis JR, Campbell AD, Adkin AL, Carpenter MG (2009) The relationship between fear of falling and human postural control. Gait & Posture 29(2): 275-279

Naveteur J, Buisine S, Gruzelierc JH (2005) The influence of anxiety on electrodermal responses to distractors. International Journal of Psychophysiology 56(3): 261-269

Lykken DT (1970) Square-wave analysis of skin impedance. Psychophysiology 7(2): 262-275

大橋と宇尾野 編 (1993) 『精神性発汗現象-測定法と臨床的応用-』スズケン医療機器事業部

Winterhalter M, Schiller J, Münte S, Bund M, Hoy L, Weilbach C, Piepenbrock S, Rahe-Meyer N (2008) Prospective investigation into the influence of various stressors on skin impedance. Journal of Clinical Monitoring and Computing 22(1): 67-74

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計1件)

田中美沙、下村義弘、勝浦哲夫: 交流電流通電法皮膚電気活動に対する通電周波数の影響と被験者特性との関係、日本生理人類学会研究奨励発表会(関東地区) 2014年12月14日、千葉大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

下村 義弘 (SHIMOMURA YOSHIHIRO)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 6 0 3 2 3 4 3 2