

人工爪装置を用いた搔破行動の科学的分析

石川美樹・土田晃貴

要旨

【目的】ひずみゲージ内蔵人工爪装置を用いて、運動学的観点から搔破行動を科学的に分析した。

【対象と方法】健康成人ボランティア 4 名(男性 3 名, 女性 1 名)の右手示指～小指に人工爪装置を装着し、普段通りの搔破行動を行った。得られた波形から 10 秒間の振動数, 振幅, 全振幅, 積分値を算出し, 4 指別, 身体の部位(大腿・上腕・頭部・前腕), 強度(弱・中・強), 着衣の有無で比較検討した。【結果】搔破行動は主に示指と中指が担っており, 頭部では振動数が多く, 全振幅は低かった。強度が強くなると振幅と全振幅が増加しており, 対象者の感覚を鋭敏に反映していた。また, 着衣があるとほぼ全ての項目が増加しており, 皮膚で感じる感覚をフィードバックして無意識に回数と強度を上げることが示唆された。【結論】人工爪は, 搔痒感の客観的評価への活用が期待される。

はじめに

皮膚の「痒み」は, 湿疹・皮膚炎, アトピー性皮膚炎, 皮膚搔痒症, 乾癬などで認められる代表的な症状であり, 皮膚科を受診する患者の約半数に認められる¹⁾。また, 搔痒性皮膚疾患を患っていないなくても, 加齢に伴って皮膚は乾燥するため, 高齢者の多くが強い乾燥性搔痒感に苛まれている。「痒み」は罹患者の精神的・肉体的苦痛を与えるのみならず, 痒みに伴う欠勤や疾病就業による社会的経済損失額は国内だけでも1ヶ月あたり 4,690 億円に上る^{2,3)}。しかし, これまで搔痒度を正確に判定することは不可能とされ, 「皮膚搔痒症診療ガイドライン」の治療アルゴリズムでも, その効果判定は患者の主観的評価のみに頼らざるを得ないのが現状である⁴⁾。特に, 交感神経緊張の解かれる夜間就寝中の痒み, 小児や高齢者など自覚症状をうまく表出できない患者の臨床評価は極めて困難である。また, 新しい搔痒疾患治療薬の開発においても, 患者の主観的評価のみに頼る既存の評価法では治療薬の効能・効果を正確に捉えきれず, 優れた新薬の開発を妨げる障壁となっている。国際かゆみ学会(International Forum for Study of Itch)も臨床評価や学術研究において新しい痒みの客観的評価法の開発は不可欠であるとし, 今後の臨床研究の重要課題に位置づけている⁵⁾。

一般に, ヒトは搔痒感を感じると無意識に搔破行動をとる。本研究では, この搔破行動を科学的に分析することを目的とし, 搔痒感の客観的かつ定量的評価への応用を検討した。これにより, 現在より効果的な治療法や新薬の開発に寄与することが期待される。

ひずみゲージ内蔵人工爪装置

本技術は, 物理的特性が均一な金属製の平板(爪部分)にひずみセンサを内蔵させ, サイズの調整可能なプラスチック製の環状部で指先に固定することができる。搔破行動によって爪部分にかかる荷重(面圧力)と指の加速度によって生じる皮膚との摩擦係数を合算したひずみ度をセンサが感知し, 荷重校正によって荷重値に換算できる(図 1)。人工爪部分を弾性率の高い平坦な金属板としたことにより, 1方向だけではなく, 反対方向への搔破も計測することができる(双方向性)。さらに, 人工爪部分をコンパクトサイズにし, 先端を丸く研磨して鈍化させたことにより, 身体のあらゆる部分の搔破行為に関して計測が可能となり, 皮膚の損傷も予防できる構造となっている。その装置の構造については 2020 年 2 月に特許出願を完了した(特願 2020-033148)。



図 1 小型搔破強度計測装置

対象と方法

対象は上肢の運動器疾患や神経疾患の既往がない健常成人ボランティア 4 名(男性 3 名, 女性 1 名)(平均年齢 22.8 歳)である。人工爪装置を被検者の右手の示指～小指の指先にしっかりと固定し, 普段行うように大腿部・上腕部・頭部・前腕部の 4 か所を搔破した。強度は弱から強までの 3 段階とし, それぞれ着衣なしとありで搔破した。筋疲労を考え, 搔破する部位の順番はランダムとし, それぞれの運動課題の合間には約 5 分間の休憩を設けた。

インターフェイスを介して連結した計測機器(PCD-400A®, 共和電業)で人工爪のひずみ度をデータ化し, パソコン内に取り込んだ。あらかじめ規定の荷重でひずみ度を測定しておき, 搔破動作で得られたひずみ度を荷重値に換算した(荷重校正)。得られた波形から安定した 10 秒間を抽出し, ノイズを除去して平滑化処理を施した。示指から小指それぞれに振動数, 全振幅, 指の屈曲方向, 伸展方向の各振幅, 整流化後の積分値を算出した。これらの項目について 4 指別, 強度別, 部位別, 着衣の有無によって統計学的に比較・検討した。

統計学的解析には Statcel3®を使用した。4 指別, 強度別, 部位別の比較は, 一元配置分散分析: ANOVA と Bonferroni/Dunn 法にて多重比較検定を行った。また, 着衣の有無では Mann-Whitney *U* 検定を行い, 有意水準はいずれも 5%未満とした。

結果

1) 4 指別比較

示指～小指の振動数には有意差がなく, 全振幅は示指～小指, 中指～環指, 中指～小指, 環指～小指間に有意差が認められ, 中指, 示指, 環指, 小指の順となった(図 2 a, b)。振幅では, 屈曲方向では示指～環指, 示指～小指, 中指～小指間で, 伸展方向では示指～中指, 中指～環指, 中指～小指, 環指～小指間で有意差が認められた。積分値は中指が約 39%, 示指が約 29%, 環指が約 23%, 小指が約 9%であり, 中指が最も高かった(図 2 c, d)。

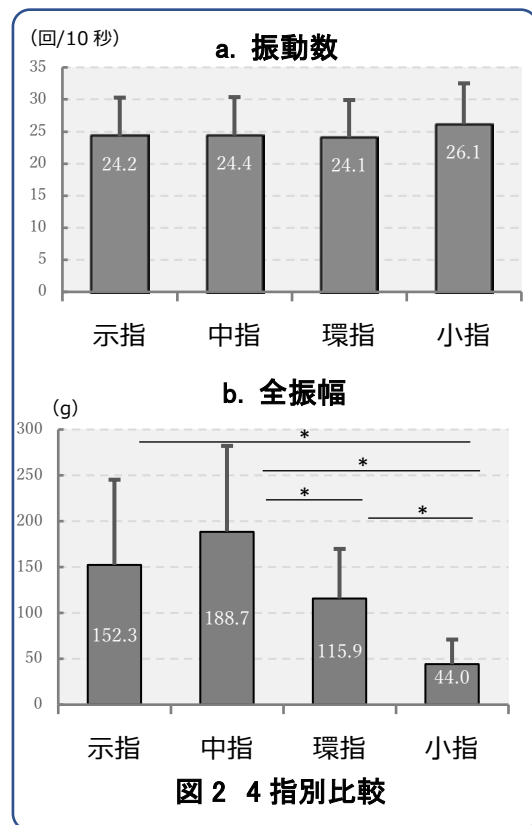


図 2 4 指別比較

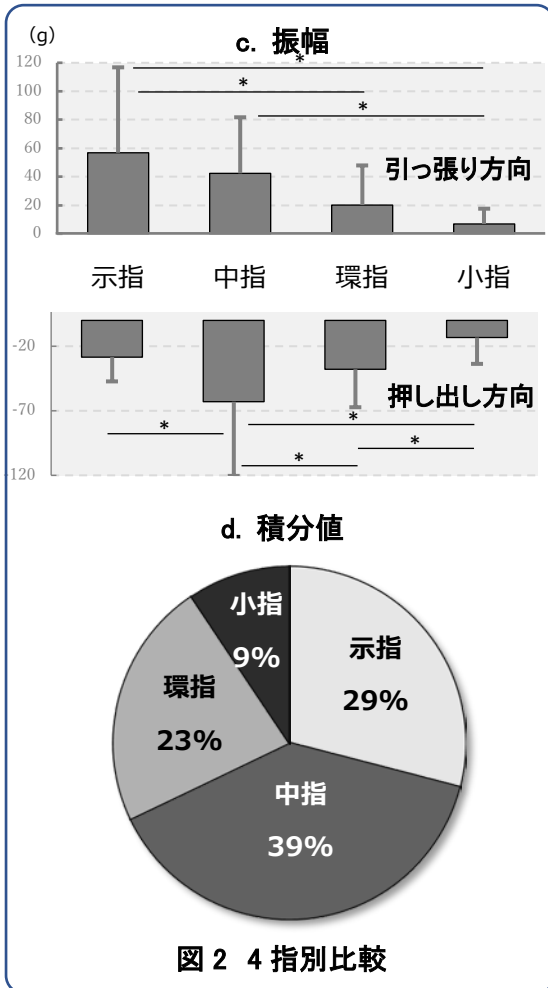


図 2 4 指別比較

2) 強度別比較

弱・中・強の 3 群で比較したところ、振動数は有意な差はなく、全振幅は弱-中、中-強、弱-強間に有意差が認められ、強度が強くなる程全振幅も増加した(図 3 a)。振幅では、屈曲方向では弱-強、伸展方向では弱-強、中-強間で有意差があり、積分値も弱-強、中-強間で有意差を認めた(図 3b)。

3) 部位別比較

振動数は大腿よりも頭部で多く、全振幅は前腕よりも頭部が有意に低かった(図 4 a, b)。振幅では、屈曲方向、伸展方向とも有意差は無く、積分値も頭部で低い傾向はみられたものの統計学的有意差は認めなかった。

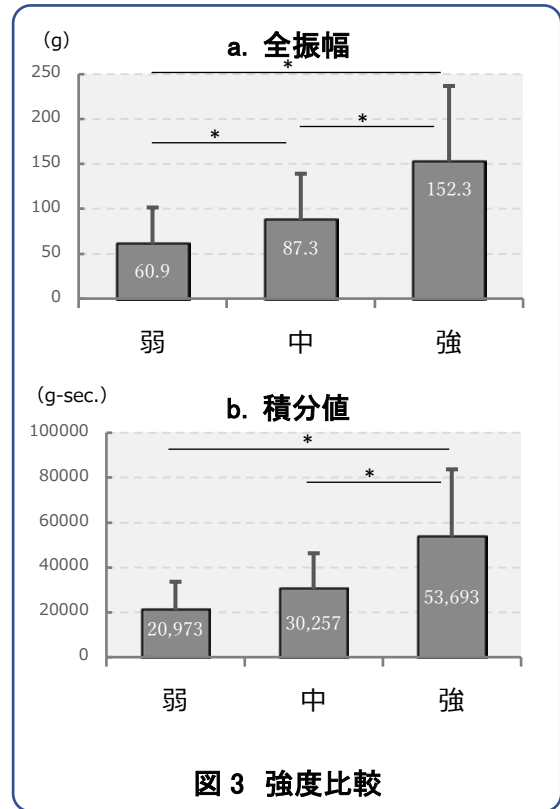


図 3 強度比較

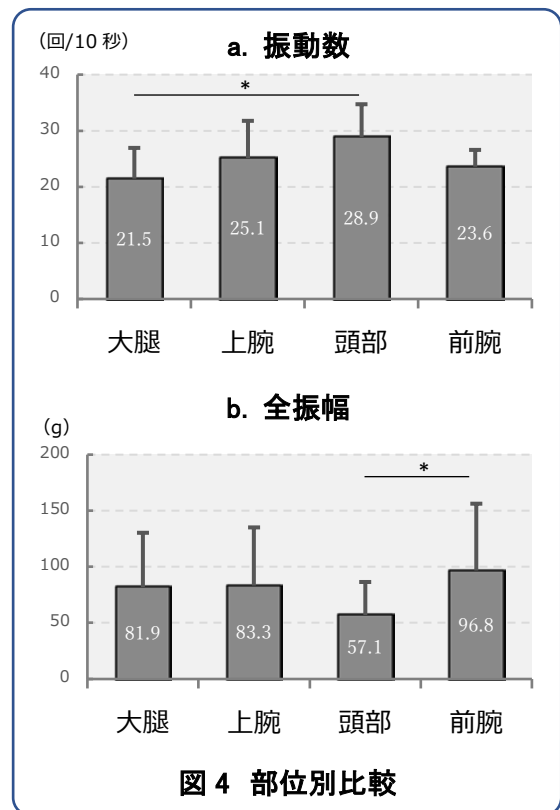


図 4 部位別比較

4) 着衣の有無比較

直接肌を搔破するか、衣服の上から搔破するかで比較すると、屈曲方向の振幅のみ有意差は認められなかったが、着衣有りが振動数、全振幅、振幅(伸展方向)、積分値とも有意に高い結果であった(図5 a, b)。

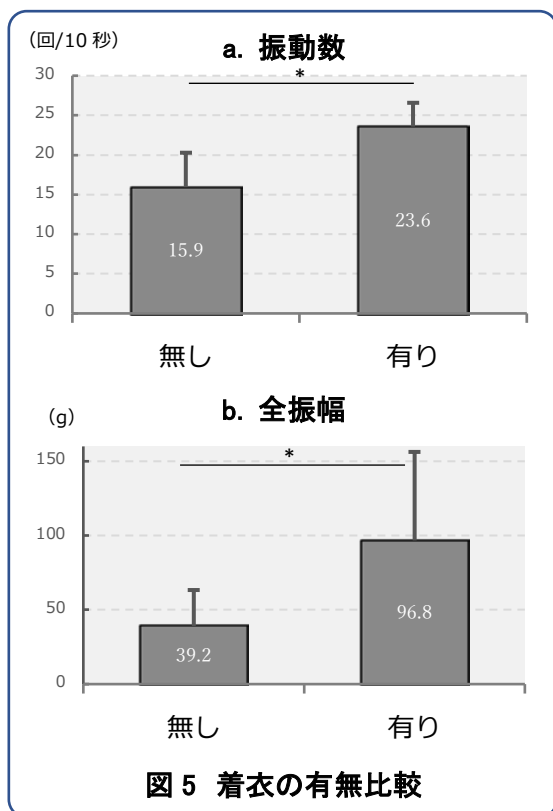


図5 着衣の有無比較

考察

近年、アトピー性皮膚炎や慢性湿疹など痒みを伴う皮膚疾患は増加傾向にあり、アトピー性皮膚炎患者だけでも国内で約34.9万人、国内推定患者数は600万人(平成26年厚生省調査)に上る⁶⁾。こうした搔痒性皮膚疾患患者は日常生活におけるQOLが低下し、多大な経済的損失を被る^{2, 3)}。皮膚を搔破するとその刺激により皮膚状態が悪化するため、さらに痒くなるという悪循環(itch/scratch cycle)が生じることから、臨床では痒みを薬で抑える治療が主流となっている。しかし、痒みの評価は患者の主観的評価に頼らざるを得ず、使用できる治療薬の種類も少ない。つまり、

疾患の病態や重症度、治療の効果を正確に把握することなく、患者の訴えをもとに主治医の経験によって手探りで投薬内容を決めているのが現状である。従って、患者本人の感覚量である痒みの程度を定量化して客観的に評価することは、正確な病態評価と適切な治療を行う上で極めて重要な意味を持つ。

痒みを評価するための方法として搔痒感によって誘発される搔破行動が注目されている。現在、夜間に赤外線カメラで撮影し、目視で回数を手動カウントする方法が試みられている。しかし、被験者のプライバシーの保護、測定者間での誤差、膨大なデータによるコストパフォーマンスなどの問題から映像による搔破行動評価は現実的とは言えない。Ebataら⁷⁾はジャイロセンサーを内蔵したwrist activity monitorで搔破腕時計型センサを使用して搔破行動に特徴的な波形を抽出する方法を考案し、一部は製品化されている。しかし、前腕を動かす大きな動きしか検出できないため、指での搔破行動を捉えることはできない。また、波形から搔破時間を導くとされているが、搔破以外の行動との差別化は容易ではなく、搔破回数や強度の評価は困難である。奥山ら⁸⁾はシリコンゴムに小型マイクをつけ、集音器で引っ掻き音を計測した。同様に、搔破時の音で搔破回数や時間を計測する方法は散見される。しかし、搔破以外の行動との区別が困難であり、着衣や皮膚の状態で音が変わること、音が重複するので1指のみしか計測できないことから普遍的評価は困難と言わざるを得ない。Molenaarら⁹⁾は生体の爪自体にひずみセンサを取り付け、爪の振動、ひずみを電気信号に変換する方法を試みた。ただ、爪自体の強度・形状・厚みは個人差があり、同一個体でも年齢や体調によって変化するため、普遍性という意味で疑問符が付く。また、荷重校正が不可能であり、屈曲方向だけの計測に限定される。本研究で使用した人工爪は、複数の指に装着可能で搔破動作のみを検出でき、搔破強度を荷重校正することが可能である。また、個体内・個体間の普遍的評価が可能であり、屈曲方向・伸展方向を分けて計測することができるという特徴を有する。

本研究の結果、4指別では環指、小指に比べて中指と示指の分担が大きく、高い面圧で搔破

していた。小指は日常生活での使用頻度が少なく、難易度が高い動作では補足運動野の活性化が必要とされ¹⁰⁾、他の指よりも拇指対立の運動イメージが出にくいこと¹¹⁾、示指と中指は他の指よりも爪が長いこと¹²⁾などが影響していると考えられる。さらに、示指は屈曲方向、中指は伸展方向に搔破する傾向がみられた原因は不明であるが、これまで全く検討されていない点であり、今後対象数を増やしながら機序の解明を進めていきたい。

強度別では、被検者の搔破強度の印象がそのまま全振幅に反映されていたことから、搔痒感を客観的に評価するツールとしての信頼性は高いと考えられる。そして、振幅は搔破行動における加速度と面圧の和であり、強度が変わっても振動数に変化がなかったことから、一般に搔破行動の強弱は回数ではなく面圧で調整すると推察される。

身体の部位について、頭部は大腿、上腕、前腕よりも弱い力で頻回に搔破することが判明した。これは、頭部は毛髪があり、皮膚を直接搔いたことが原因と考えられる。体毛の量には個人差があるため、同じ部位であっても異なる行動形態をとる可能性も否定できない。今後は、毛量も含めて評価する必要がある。

着衣がある場合、素肌よりも回数と面圧を上げて搔破することがわかった。衣服が介在することで同じ面圧と回数で搔破しても皮膚へ伝わりにくいことが考えられる。つまり、ヒトは搔破部位の表在知覚で常にフィードバックしながら搔破する手指へ信号を送り、無意識に回数と面圧を調整しているといえる。

本研究の限界として、症例数が少ないこと、横断的評価であること、衣服の厚さや素材を規定していなかったことが挙げられる。今後、サンプル数を蓄積しながら縦断的検討を加えることで、より詳細な分析が可能となり、搔痒感の客観的、普遍的評価に繋げることができると考えられる。

まとめ

健康成人ボランティア 4 名の搔破行動を分析した。搔破行動は主に示指と中指で行い、搔破行動の強弱は、回数よりも面圧で調整すること、

上腕・大腿・前腕の搔破形態は類似しているが、頭部は比較的頻回に軽く動かす傾向があること、着衣の上から搔破すると、回数・強度ともに上昇することが示唆された。本デバイスは搔痒性皮膚疾患の病態評価、治療薬の開発、効果判定への応用が期待される。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導、ご尽力を賜りました小関弘展教授ならびにご協力をいただいたボランティアの方々に心より謝意を表します。

参考文献

- 1) 古江増隆, 山崎雙次, 他: 本邦における皮膚科受診患者の多施設横断四季別全国調査. 日皮会誌. 2009;119(9):1795-1809.
- 2) Murota H, Kitaba S, et al: Effects of nonsedative antihistamines on productivity of patients with pruritic skin diseases. Allergy. 2010;65(7):929-930.
- 3) 室田浩之, 北場 俊, ほか: かゆみを伴う皮膚疾患患者での労働生産性の評価 とヒスタミン H1 拮抗薬による改善効果の検討. Prog Med. 2009;29(7):1842-1848.
- 4) 佐藤貴浩, 横関博雄, ほか: 汎発性皮膚癢痒症診療ガイドライン. 日皮会誌. 2012;122(2):267-280.
- 5) Stander S, Augustin M, et al: Pruritus assessment in clinical trials: consensus recommendations from the International Forum for the Study of Itch (IFSI) Special Interest Group Scoring Itch in Clinical Trials. Acta Derm Venereol. 2013;93(5):509-514.
- 6) 加藤則人, 佐伯秀久, ほか: アトピー性皮膚炎診療ガイドライン 2016 年版. 日皮会誌. 2016;126(2):121-155.
- 7) Ebata T, Iwasaki S, et al: Use of a wrist activity monitor for the measurement of nocturnal scratching in patients with atopic dermatitis. Br J Dermatol. 2001;144(2):305-309.

- 8) 奥山武志, 畠山一樹, 他: 引っ掻き音計測による引っ掻き動作評価に関する研究. 日本 AEM 学会誌. 2015;23(1):80-85.
- 9) Molenaar HA, Oosting J, et al: Improved device for measuring scratching activity in patients with pruritus. Med Biol Eng Comput. 1998;36(2):220-224.
- 10) Erdler M, Windischberger C, et al: Dissociation of supplementary motor area and primary motor cortex in human subjects when comparing index and little finger movements with functional magnetic resonance imaging. Neurosci Lett. 2001; 313(1-2):5-8.
- 11) 李 圭敦, 前田剛伸, 他: 母指と他 4 指との対立運動の運動イメージが脊髄神経機能の興奮性に及ぼす影響. 関西理学. 2018;18:55-59.
- 12) 吉田 太: 手指における爪, 指末節部, 指末節骨の計測による形態学的研究. 昭和会誌. 1996;56(2):175-182.

(指導教員: 小関弘展)