

すくみ足の客観的評価 Freeze Index算出に関する検討

○武田 超^{1,2)}, 今野 洋平¹⁾, 加藤 理久¹⁾, 荒巻 晋治³⁾

- 1) 秋田県立リハビリテーション・精神医療センター 機能訓練部
- 2) 秋田大学 大学院医学系研究科
- 3) 秋田県立リハビリテーション・精神医療センター リハビリテーション科

【目的】

すくみ足は出現様式の多様さから、現在も客観的な評価方法が確立されていない。近年では加速度計を用いた評価として Freeze Index (以下FI)が報告され、すくみ足の客観的評価が進んできている。しかし、FIは加速度計の装着箇所やFI算出の際のウィンドウサイズで値が変動しやすい。各測定値が異常検出をどれほど反映しているかを確認する方法として特徴量選択という手法がある。今回は、有効な測定方法を探索するために加速度計装着箇所とFIのウィンドウサイズに関して特徴量選択の観点から検討を行った。

【方法】

対象は当センターに入院した患者のうち、すくみ足を認めたパーキンソン病患者7名とした。すくみ足の計測はTimed Up and Go test中に行い、加速度計は第3腰椎棘突起と両側下腿遠位部(外果上方)に装着した。FIは、加速度の鉛直成分からフーリエ変換によりパワースペクトルを求め、運動帯域(3~8Hz)の面積2乗値をすくみ足帯域(0.5~3Hz)面積2乗値で除して算出した。FIは、単一センサー(腰部:①、右足:②、左足:③)および複数センサー(両足:④、腰部・両足:⑤)の計5つについて、6つのウィンドウサイズ(1秒ごとに1~6秒)で算出した。また、加速度計とビデオカメラを同期させ、記録したビデオ動画から理学療法士3名の合意によりすくみ足を同定した。ビデオ評価に対する各FIについて、k近傍法とMinimum Redundancy Maximum Relevance (MRMR)アルゴリズムを用いた相互情報量でランク付けした。

【結果】

k近傍法ではウィンドウサイズ1秒の②、④、⑤とウィンドウサイズ6秒の①と②が上位にランク付けされた。MRMRアルゴリズムを用いた相互情報量ではウィンドウサイズ1秒の⑤、3秒での①、5秒の①、6秒の②・③で影響度が高かった。両方で上位に選択された特徴量はウィンドウサイズ6秒の②とウィンドウサイズ1秒の⑤であった。

【考察】

今回はFIによるすくみ足の検出について、ビデオ解析との関連性およびクラスター分類の容易さから検討を行った。2つの指標で上位にランク付けされた特徴量は、すくみ足を検出する優れた機能を有している可能性がある。今回は少数の対象者での検討であり、パーキンソン病のすくみ足を網羅的に捉えているかは不明だが、その傾向を示すことはできたと思われる。

【結語】

今回の検討では、右足で計測したウィンドウサイズ6秒のFIと3つの加速度計を用いたウィンドウサイズ1秒のFIですくみ足を検出しやすいことが示唆された。今回はFIの算出方法に関する検討であり、客観的評価として用いるためには、今後の更なる検証が必要である。

【倫理的配慮、説明と同意】

本研究は、発表者が所属する施設の研究倫理委員会(承認番号:3-3)の承認を得て実施した。対象者には事前に十分な説明を行い、書面にて同意を得た。

MEG環境下で使用可能なハプティックデバイスの開発

○祖父江 祐太¹⁾, 大鶴 直史²⁾, 菅田 陽怜³⁾, 三木 将仁¹⁾, 大西 秀明²⁾, 原 正之¹⁾

- 1) 埼玉大学 大学院理工学研究科
- 2) 新潟医療福祉大学 リハビリテーション学部
- 3) 大分大学 福祉健康科学部

【目的】

ニューロリハビリテーションやてんかんの診断などで活用される脳磁図(MEG)は、脳から発せられる微小な磁場を検出して脳神経活動を可視化するため、機器を用いた触力覚刺激の制御は困難であると考えられる。本研究ではこの通説に逆らい、MEG環境下で使用できるハプティックデバイスの実現に挑戦する。特にヒトの温感に着目し、サーマルグリル錯覚(TGI)を惹起できるMEG対応温感提示装置の開発を試みる。

【方法】

本研究では、予備実験でMEG環境でも使用可能であることが示唆されたペルチエ素子を使用して提示温度の制御を行うことを考えた。具体的には、4枚のペルチエ素子と90×30×1[mm]の銅板を用いて手の平に4種類の温度を提示できる温感提示装置を試作し、ペルチエ素子の表面温度の制御を4つの電流アンプと熱電対を用いて独立に行えるようにした。したがって、ペルチエ素子の表面温度を交互に制御することで冷たい銅板と暖かい銅板を交互に作り出すことができ、手の平に対してTGIを惹起することが可能となる。次に、試作機を用いて健常者8名に対してTGI惹起実験を行い、統制群と実験群での灼熱感をアンケートにより評価した。統制群では全ての銅板を40[deg C]に制御し、実験群では手首側から1枚目と3枚目の銅板(高温面)を40[deg C]に、2枚目と4枚目の銅板(低温面)を10、20、30、40[deg C]のいずれかの温度に制御した。

【結果】

まず駆動実験により、試作機を用いて4つの銅板温度を独立に10~40[deg C]で制御できることを確認した。TGI惹起実験では、高温面と低温面の温度差が大きくなるにつれて、灼熱感を報告する研究参加者が増えたが、TGI体験は全体として予想より弱く惹起され、温度差が大きい場合でもTGIが体験されない場合もあった。

【考察】

大脳皮質において身体の各部位が占める割合では、手よりも手指の方が高い。本研究では、統制群からの温度差が最も大きくなる低温面を指先に配置して実験を行ったため、指先における冷たい感覚が支配的になり、全体としてTGI体験が弱くなってしまった可能性が考えられる。以上のことから銅板面の順番や数の変更などで、より効果的にTGIを引き起こせる可能性がある。

【結語】

本研究では、10[deg C]~40[deg C]の範囲で温度を任意に提示できる温感提示装置の開発を行った。また、試作装置によりTGIを惹起できることを確認できたが、予想よりもTGI体験が弱かったため、今後の研究では銅板の配置変更などを行い、TGIをより効果的に引き起こすことを試みるとともに、MEG環境下でその有効性の確認を行う。

【倫理的配慮、説明と同意】

実験は埼玉大学倫理委員会の承認(R3-E-20)を得て実施しており、研究参加者からは実験前にインフォームド・コンセントを得ている。



歩行中の身体部位の加速度を用いた下肢関節モーメントの推定—機械学習による検証—

○稲井 卓真¹⁾, 高林 知也²⁾

- 1) 産業技術総合研究所 ぐらし工学研究グループ
2) 新潟医療福祉大学 運動機能医科学研究所

【目的】

歩行中の下肢関節モーメントは疾患の進行リスクの評価が可能な指標である。例えば、歩行中の膝関節屈曲・内転モーメントの増加は変形性膝関節症の進行リスク、股関節屈曲・外転モーメントから得られるインパルスの増加は変形性股関節症の進行リスクと関連することが報告されている (Chehab et al., 2014; Tateuchi et al., 2017)。したがって、これらの疾患の進行リスクを日常的かつ継続的に評価するために、日常歩行中の下肢関節モーメントを評価することは重要である。先行研究は、ひとつの慣性計測装置 (IMU) を用いて、歩行中の腰部の加速度等の情報から下肢関節モーメントを推定するモデルを報告したが (Lee et al., 2020)、腰部以外の部位の加速度から推定を試みた研究はない。そこで本研究は、歩行中の各身体部位の加速度から下肢関節モーメントを推定するモデルを構築し、その精度を比較することとした。

【方法】

本研究の対象者はAIST2019 (小林ら, 2019) に登録されている健康成人188名とした。課題動作は快適歩行とした (各被験者10試行)。歩行データから1歩行周期の腰部, 左手関節, 左膝関節, 左足関節, 左足部, 胸部の計6か所の加速度波形を計算した (6条件)。188名のうち152名を訓練データ, 36名をテストデータとし, 中間層が1層 (ノード数は20) の誤差逆伝播法を用いた。入力時間は時間 t と, t における各身体部位の加速度波形, 出力は股・膝・足関節モーメント (各3平面) とした。推定した下肢関節モーメントから下肢関節全体の正規化平均二乗誤差平方根 (NRMSE) を各条件で計算し, 多重比較検定をした。

【結果】

歩行中の腰部の加速度から下肢関節モーメントを推定した際のNRMSEの平均値 (15.2±1.8%) は他の条件と比べて有意に小さかった ($p<0.001$)。

【考察】

本研究の主たる知見は、歩行中の左手関節, 左膝関節, 左足関節, 左足部, 胸部の加速度と比較して、歩行中の腰部の加速度から下肢関節モーメントを推定した際の精度が最も高かったことである。腰部と比較して他部位の加速度から下肢関節モーメントを推定した際の精度が良好であった場合、例えばIMUを腕時計 (手関節), ネックレス (胸部), 靴 (足部), 靴下 (足関節部) などに埋め込むことによる下肢関節モーメントの推定といった発展も考えられたが、腰部の条件で精度が最も高かった。したがって、ひとつのIMUから下肢関節モーメントを推定する際は、(IMUをベルトに埋め込むなどして)腰部の加速度から推定することが望ましいことが示唆された。

【結語】

歩行中の他部位 (手関節・膝関節・足関節・足部・胸部) の加速度と比較して、腰部の加速度から下肢関節モーメントを推定したときの精度が最も高い。

【倫理的配慮、説明と同意】

本研究で用いたデータは、発表者が所属する機関の研究倫理審査委員会に承認された上で収集されたものである。実験時に書面による説明を行い、同意を得た。

手を刺激対象とした実体的意識性的実験的誘起に関する研究

○守下 奈那¹⁾, 金山 範明²⁾, 原 正之¹⁾, 三木 将仁¹⁾

- 1) 埼玉大学 大学院理工学研究科
2) 産業技術総合研究所 情報・人間工学領域

【目的】

近年、リーダ・フォロワシステムを用いて閉眼状態の研究参加者の背中に非同期的能動的自己触刺激を与えると実験的に実体的意識性 (PH) を引き起こせることが確認されている。本研究では、手を刺激対象とした非同期的能動的自己触刺激でPHを実験的に誘起できるか検証するとともに、フォロワロボットで刺激される手の位置がPH体験に及ぼす影響を明らかにすることを試みる。

【方法】

本研究では、リーダ・フォロワシステムを用いて手を刺激対象としたPH実験を健康者25名に対して実施した。具体的には、閉眼した研究参加者に利き手でリーダロボットを操作して、仮想ダイナミクスにより構築した仮想身体に対して1分間のタッピング刺激を与えるよう指示した。この時、研究参加者は非利き手の甲に同期/非同期的タッピング刺激をフォロワロボットより受ける。実験中は、刺激提示のタイミング (同期条件と非同期的条件) と刺激を受ける手の位置 (近距離条件: 200[mm]と遠距離条件: 600[mm]) を変化させ、計4通りの実験条件を各5回ずつランダムに提示した。各試行終了後には、セルフタッチ感覚、他者へのタッチ感、運動主体感、受動体験、PHに関するアンケートに7段階リッカート尺度 (0~6) で答えるよう指示した。また、PHに関する項目に0以外のスコアで答えた場合には、PHの体験位置や人数についても尋ねた。

【結果】

PHおよび他者へのタッチ感はその位置によらず非同期的条件において有意に高いスコアとなり、受動体験に関しては全ての比較で有意差が現れた。また、同期条件で他者へのタッチ感とPH、受動体験とPHに関して有意な正の相関が確認できた。PHが体験された場所は近距離条件では前方、遠距離条件では左方向に報告される傾向があった。PHの人数は条件間で差はほとんど見られず、平均して約1人であった。

【考察】

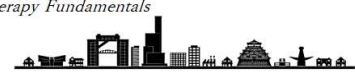
非同期的条件において、PHおよび受動体験の項目で有意に高いスコアが報告されたことから、手を刺激対象とした非同期的能動的自己触刺激でもPH体験を実験的に誘起できることを確認できた。また相関関係から、他者へのタッチ感や受動体験が増加するとPHも増加することが示された。さらに今回の実験では、刺激される手の位置は主観的なPH体験の強さには関係しないという結果になったが、PHが体験される位置には影響する可能性が示唆された。

【結語】

本研究では、手に非同期的能動的自己触刺激を与えることで健康者にPHを実験的に体験させることが可能であることを実証した。また刺激を受ける手の位置によって、受動体験の強さやPH体験の位置を変化させることができることが示唆された。

【倫理的配慮、説明と同意】

実験は埼玉大学倫理委員会の承認 (R2-E-13) を得て実施しており、研究参加者からは実験前にインフォームド・コンセントを得ている。



再現性を重視した筋シナジー解析アルゴリズムの提案

○松井 佑介¹⁾, 野島 一平²⁾

1) 名古屋大学 大学院医学系研究科

2) 信州大学 医学部保健学科

【目的】

運動モジュールの同定において筋シナジー解析は広く用いられている。しかし、日常的な臨床現場における応用は十分に進んでいない。その要因として、再現性と可用性の二つのボトルネックが存在する。筋シナジー解析は多チャンネル表面筋電位 (surface electromyography; sEMG) から低次元構造を推定する問題であるが、再現性を阻む要因として筋電位測定におけるノイズ複雑性と、筋シナジーモデルとして広く用いられる非負値行列分解 (Non-negative matrix factorization; NMF) の解の不定性が挙げられる。特に複数の対象者を比較するような場合には、再現性の問題はより深刻となる。また、可用性を阻む要因としては、解析過程において異常試行に対して手動による除外ステップがあることや、アドホックなパラメータ調整が存在することが主な要因としてあげられる。これらの臨床応用上の問題を、包括的に解決するためには、筋活動データにおいてばらつきを生む原因を特定し、関心のあるシグナルのみを自動的に推定・分離するための統計的なフレームワークが必要である。

【方法】

sEMGの多様な誤差構造を生み出す主な要因として、試行間のばらつきを生み出す個体内変動と個体間のばらつきを生じさせる個体間変動を仮定したKarhunen-Loève展開に基づく統計モデルを立てた。推定には主成分分析法を用いた。真の筋活動を推定したのちにNMFによる筋シナジー推定を行った。提案アルゴリズムの評価には、実際の筋活動データを元に異常な振幅成分と、異なる筋活動成分をランダムに加えて生成したシミュレーションデータおよび歩行時筋活動に関する実データを用いて検証した。シミュレーションでは、真の筋活動が再現できるかを評価した。

【結果】

シミュレーション実験では、異常振幅がランダムに含まれた場合であっても感度99.8%で自動的に異常試行を除外でき、複数のアーチファクト成分に対しても真の筋活動を安定的に分離可能であった。最終的に推定した筋活動と真の筋活動との相関は0.99であった。また実データを用いた筋シナジー解析についても、異なる測定条件である既報の研究結果と同様な構造を再現できた。

【考察】

筋シナジー解析の再現性を実現するためには、sEMGデータのノイズ構造を的確に捉えた統計モデルによって真の筋活動成分を高い精度で推定することが重要である。

【結語】

提案した筋シナジー解析アルゴリズムでは結果のばらつきを生み出す多様なノイズの多くを分離でき、解析を自動化することも可能である。日常的な臨床評価としての応用が期待できる。

【倫理的配慮、説明と同意】

本研究は本学の倫理審査委員会の承認を受けて実施された。また、本研究はヘルシンキ宣言に則っており、実験開始前に対象者に本研究内容を口頭と書面にて十分に説明し、同意を得た上で行われた。

超音波パルス刺激は脱神経筋におけるアセチルコリン受容体の形態変性を抑制する

○伊藤 明良, 河合 秀紀, 中原 峻, 徐 仕軒, 趙 梓汐, 戴 嘉, 黒木 裕士

京都大学大学院 医学研究科理学療法学講座

【目的】

末梢神経損傷後の運動機能回復には、損傷神経、効果器である骨格筋、そして両者を接合する神経筋接合部 (NMJ) への包括的なアプローチが必要である。脱神経筋および損傷神経に対する理学療法効果検証は試みられているものの、NMJへの介入研究はほとんどない。NMJは、運動神経終末と骨格筋の接合部であり、運動神経終末、アセチルコリン受容体 (AChR)、非ミエリンシュワン細胞 (tSC) からなる。本研究ではtSCがNMJの形成・維持機能を有すること、および超音波刺激がシュワン細胞の増殖と生存を促進することが報告されていることから、超音波刺激がtSCを維持・増殖させ、損傷後のNMJの変性や減少を抑制すると仮説を立てた。本研究の目的は、末梢神経損傷後のNMJの変性や減少に対する超音波刺激の影響を、実験動物を用いて検証することである。

【方法】

実験動物として12週齢のWistar系雄性ラットを用いた。左腓骨神経を切除して超音波を照射するUS群 (n=8)、切除して疑似照射するSham群 (n=8)、そして左腓骨神経を切断しないIntact群 (n=2) に無作為に振り分けた。超音波照射は、周波数1 MHz、強度 140 mW/cm² (空間平均時間平均)、照射時間率 20% の条件で、左前脛骨筋に対して切断翌日から麻酔下で1日5分間の介入を4週間毎日実施した。4週後、左前脛骨筋のNMJの数と形態を評価するためにAChRの数と形態を解析した。形態解析では、AChRを成熟したpretzel型、未成熟なplaque型、それらの中間であるintermediate型の3つに分類した。さらに、NMJの数や形態に対するtSCの影響を評価するために、ひとつのAChRあたりのtSC数 (tSC数) およびtSCを持つAChRの割合 (tSC保持率) を算出した。統計手法として、US群とSham群の2群間をStudent's t検定にて解析した。

【結果】

切断後4週経過時点においてAChRが変性し、US群、Sham群ともにIntact群と比較してpretzel型が減少し、plaque型が増加することを確認した。さらに、US群ではSham群と比較してpretzel型の減少とplaque型の増加が有意に抑制された (p < 0.05)。一方で、AChRの数はUS群とSham群の間に有意な差は認められず、Intact群と比較しても減少する傾向は認められなかった。tSC数および保持率は、US群とSham群で有意な差は認められなかった。

【考察】

末梢神経損傷によってNMJを構成するAChRの変性 (pretzel型の減少、plaque型の増加) が確認されたが、超音波刺激はこの変性を抑制する効果を有することが明らかとなった。しかしながら、超音波刺激の有無でtSC数や保持率に対する影響は認められず、仮説を支持する結果とはならなかった。超音波刺激によるNMJの変性抑制作用機序には、tSC数および保持率以外の要因が関与することが示唆された。

【結語】

超音波刺激は脱神経筋のAChRの変性を抑制することが示唆された。

【倫理的配慮、説明と同意】

本研究は所属施設の倫理委員会の承認を得て実施した (Med Kyo20027)。

