

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 8 日現在

機関番号： 13601
 研究種目： 若手研究(B)
 研究期間： 2010～2011
 課題番号： 22700465
 研究課題名(和文)ニューロイメージ解析技術に基づくバイオメカニクスデータの精密解析手法の開発
 研究課題名(英文) Development of biomechanically precise data analysis techniques based on neuroimaging technology
 研究代表者
 パタキー トッド (PATAKY Todd)
 信州大学・ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点・助教
 研究者番号：70571212

研究成果の概要(和文)：本研究では、脳血流データを解析する高度に洗練されている「統計的パラメータ・マッピング」(以下 SPM) がヒトの手の圧力分布データにも適すかを目的とした。SPM の結果には、従来手法のより解剖詳細が細かくうつるため、今までわからなかった手の動作、特に優先の解剖的利用を本研究で明らかにした。圧力分布が脳血流のように空間的に滑らかに変化するため、SPM が本データにも理想的な解析手法だという結論ができた。

研究成果の概要(英文)： The purpose of this research was to determine whether Statistical Parametric Mapping (SPM), a highly sophisticated method of analyzing cerebral blood flow, is also appropriate for analyzing hand pressure distribution data. Since SPM's results are much more anatomically detailed than previous methods, this research elucidated previously unknown hand behaviors, including especially preferred anatomical usage. Since pressure distributions, like cerebral blood flow, vary in a spatially smooth manner, it was concluded that SPM is an ideally suited for analysis of these data.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学、生体材料学

キーワード：バイオメカニクス、bioimaging

1. 研究開始当初の背景

私たちの生活には手がとても大事な道具である。食事、入浴、仕事、遊び、コミュニケーションにも、殆どの日常生活活動は手を利用するもの。手の機能不全が生じれば、いくら軽くても日常生活には計り知れない影響を与えることにおける、手の重要性が明らかである。指が 10 本あるのに、全ての生体

システム(筋肉、細胞等)のように一つのゴールに向けて相互差量するため、手がモデルとして理論的なバイオメカニクスにも重要である。

指先の力が普通の力センサーにて楽に測定できるため、従来手の力学に関する実験が殆ど指先の力のみを検討してきた。90年代に市販の3次元力センサーができた上で、手のバイオメカニクス分野には論文、発表等

が劇的に増加してきた。

指先のみ、つまり不自然な握り方を検討したことが従来の研究の主な制限である。自然な手の機能では、指先のみではなく、指の全ての表面及び手の平の表面も物体と接触する。最近の研究ではこの自然な接触力分布を検討しつつも、データ解析では不自然に手を離散化し、元のデータに比べたら割合に非詳細及び非直感的な結果が発表されている。この離散化以外の解析手法は現在存在していない。

本研究では、ニューロイメージング技術を使った手の自然な力分布の解析にて従来の研究の限界を克服することを目的とした。この技術は、確率場の理論に基づく「統計パラメータ・マッピング」(以下 SPM) という手法であり、力分布及び圧力分布の全てを同時に統計的に解析する。SPM を手の圧力分布へ応用することにおける本研究は、SPM の一般的バイオメカニクスのデータの精密解析可能性を明らかにする様相がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、従来のバイオメカニクス解析手法よりもニューロイメージング技術(即ち SPM)の方が手の力分布を効果的に解析できるのを明らかにすることである。特に、従来の手法よりも空間分解能の高い統計解析における解剖詳細を細かく解析することを目的とした。具体的な目標は下記通りである。

任意の手姿勢における手の圧力分布の連続的平均画像の計算ができる手法を開発すること。

バイオメカニクスの回帰パラメータ(握った物体の重さ、サイズ等)との相関を表す連続的統計推論画像を生成すること。

健常者を対象とした自然な把持タスクの基礎実験のデータを空間分解能の高い画像にて手の平均使い方を発表すること。

3. 研究の方法

第1年には、圧力分布測定システムと実験用装置を取得し、高空間分解能解析が出来るソフトを開発した。図1に表すように出来た3次元手の圧力分布が幾何学的に複雑で、人によるサイズ、位置、角度等が変化するために、複数の圧力分布を直接に比較するため、手を自由に動かす必要がある。従って手の位置合わせが出来るようになるため、図2の通り運動学でモデルに基づいた手を動かす

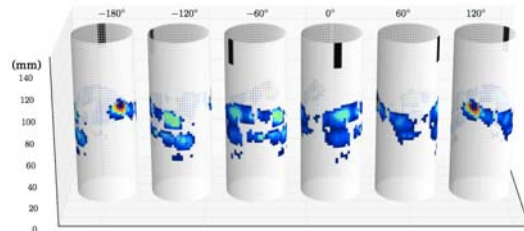


図1 手の圧力分布

手法を開発し、様々な実験タスクでは自動的に位置合わせができるかを検討した。

そして、高分解能のカスタム測定システムと対応のデータ記録ソフトを購入し、実験装置を海外の(ペンシルベニア州立大学の)共同研究者と共に開発した。高分解能ソフトは信州大学にて開発し、基礎実験に装置とソフトの組み合わせをテストした。そして、連続的統計解析のための SPM ソフトも信州大学にて開発し、オープンソースとして学術誌に出版し、インターネット上にもリリースした。

第2年は実験を呼びデータ解析に集中した。3週間ほどビジュアリング・スカラーとしてペンシルベニア州立大学にて開発した装置及びソフトを使用した実験を行い、基礎実験こそに対して SPM の効果的および解剖的精密を証明することを狙った。

最初の予定と違い、手ばかりではなく、開発した装置が足の圧力分布の解析にも非常に効果的であることを実現した上で、立位時の足底圧基礎実験も行った。本実験は、立位時の姿勢制御の幅広い研究分野の中の SPM の最初利用である。

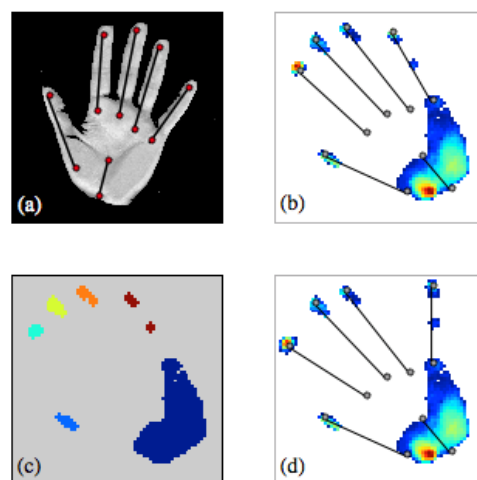


図2 運動学的モデルにおける手の圧力分布を自由に動かすことが出来る

4. 研究成果

本研究では、図1に表すように最初の高空間分解能（約 2.5mm）にて手の圧力分布の統計的解析ができた。この分解能の高いデータに対して最適位置合わせアルゴリズムを行い、図3に表すようにどの場所やどの手の姿勢でも登録（位置合わせ）が出来るという結果ができた。

この圧力分布位置合わせ手法から発生したのは、従来の研究より統計的空間分解能が約 10 倍高く評価できるという結果である。図4に表すように登録されていないデータのほうが、登録されているデータよりどの場所でも標準偏差が高い。それに従来の測定システム及は分解能が低く、従来の解析手法ではある場所から適当にデータを抜き出すことから、この10倍程の誤差が発生することを明らかにした。

出来た解剖的及び空間的精密に従い、図4に表す SPM の優位性、特に圧力分布データの解析への優位性を決定的に発表できた。

そして、空間分解能が高ければ高いほど良いことという従来の考え方と違い、図5に表すように SPM が場合による(手も足も含め)分解能が低くてもバイオメカにクスの意味に影響しないという結果を統計的に明らかにした。

この高空間分解能のため、本研究では今までわからなかった手の機能を詳しく説明できた。特に、現在の把持分類系が手の精密動作には合わないという結果ができ、標準の把持分類系（パワー把持と精密把持の分類系）までの修正も提案できた。提案した修正が手の臨床診察及び手のリハビリには重要な関係という可能性もある。

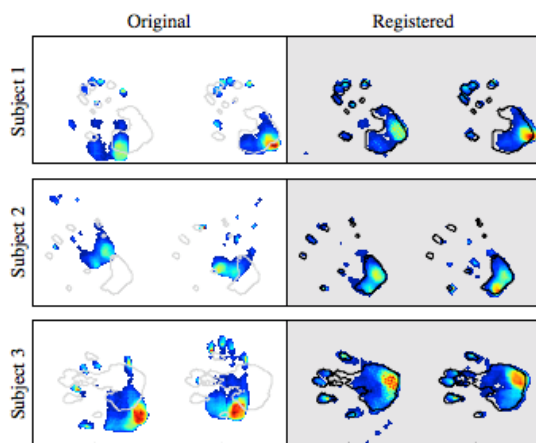


図3 手の位置合わせアルゴリズムの結果

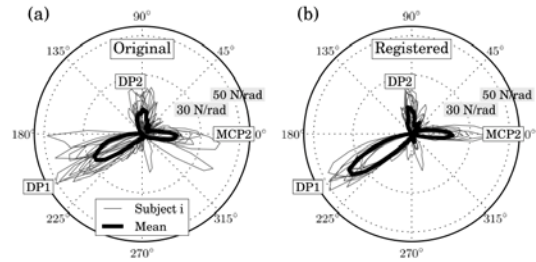


図4 位置合わせの影響。左：元のデータ。右：登録（位置合わせ）されたデータ。

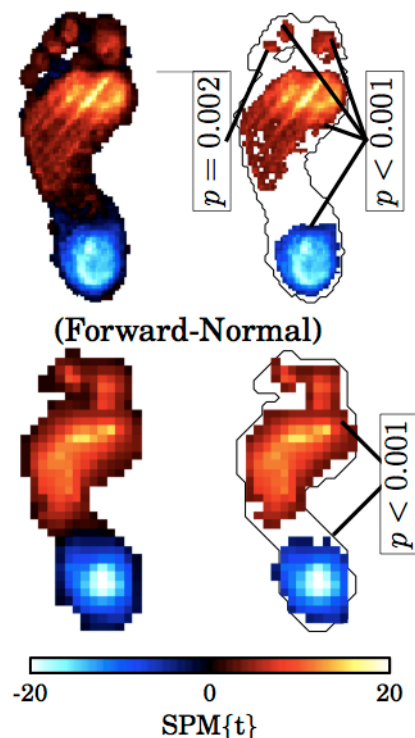


図5 SPM における空間分解能の影響の結果。上：2.5 mm。下：8.5 mm。

最後の成果は、前記通り SPM ソフトのオープンソース版ができ、下記リンクにて「SPM1D」としてインターネット上に出版した（www.tpataky.net/spm1d）。本ソフトでは、世界中の研究者が無料でダウンロードでき、手の圧力分布及び他の接触圧力分布データを解析できる。イギリスのリバプール・ジョン・ムアーズ大学のバイオメカニクス研究グループが既に SPM1D を採用し、今度最初の SPM1D を使用した論文を出版するそうである。最後に、本研究では「SPM の優位性」とい

うシンプルなのに明確な結論ができたため、そして 1990 年代にニューロイメージングの分野の中では SPM が脳血流の解析のゴールドスタンダードになっているため、SPM がバイオメカニクスの分野にもゴールドスタンダードになれるかという予想ができた。従って、今後もバイオメカニクスデータのための SPM の開発を推進するつもりである。

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)

[雑誌論文](計4件)

Pataky TC (2012). One-dimensional statistical parametric mapping in Python. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering* 15(3): 295-301. <http://dx.doi.org/10.1080/10255842.2010.527837>

Pataky TC, Slota GP, Latash ML, Zatsiorsky VM (2012). Radial force distribution changes associated with tangential force production in cylindrical grasping, and the importance of anatomical registration. *Journal of Biomechanics* 45(2): 218-224. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.11.006>

Pataky TC (2012). Spatial resolution in plantar pressure measurement revisited. *Journal of Biomechanics*, *in press*.

Pataky TC, Robinson MA, Vanrenterghem J (in review). Using neuroimaging theory for generalized analysis of biological motion and dynamics. *Journal of the Royal Society Interface*.

[学会発表](計3件)

Pataky TC, Spatial resolution and peak pressure change measurement accuracy. 3rd International Foot and Ankle Biomechanics Congress, 2012.04.12, シドニー, オーストラリア.

Pataky TC (特別講演), 足底圧分布解析及び応用, 第6回日本生体応用計測研究会, 2011.11.19, 郡山.

Pataky TC, Postural compensation in hand pressure images, 5th European

Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering, 2011.09.16, ブダペストハンガリー.

[その他]

ホームページ等

<http://www.tpataky.net/spm1d/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

パタキー トッド (PATAKY Todd)

信州大学・ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点・助教

研究者番号: 70571212

(3)連携研究者

Prof. Vladimir M ZATSIORSKY

The Pennsylvania State University

Department of Kinesiology

研究者番号: なし

Prof. Mark L. LATASH

The Pennsylvania State University

Department of Kinesiology

研究者番号: なし