

物理的身体性と感覚的身体性の相互関係

The interrelationship between mechanical and sensory embodiment

跡見 友章^{*1}
Tomoaki Atomi田中 和哉^{*1,5}
Kazuya Tanaka大川 孝浩^{*2,5}
Takahiro Ohkawa長谷川 克也^{*3,5}
Katsuya Hasegawa高田 勇^{*4,5}
Yu Takada清水 美穂^{*5}
Miho Shimizu跡見 順子^{*5}
Yoriko Atomi

*1 帝京科学大学 *2 文京学院大学 *3 日本宇宙航空研究開発機構

*4 宇野病院 *5 東京農工大学

*1 Teikyo University of Science *2 Bunkyo Gakuin University *3 Japan Aerospace Exploration Agency JAXA

*5 Uno Hospital *6 Tokyo University of Agriculture and Technology

Human movements always obey the laws of physics. On the other hand, we convert and receive the physical laws of the outside world via various sensory receptors into nerve signals. Therefore, it is important to analyze the human movements by the measurement method focusing on the functional properties of sensory receptors. In this study, a series of movements from the supine to the standing posture were measured focusing on vestibular, pressure, and proprioceptive sensation. As a result, the pressure distribution caused by the body mass, the acceleration / angular velocity occurring at the head, and the muscle activities connecting each segment of the body tended to be associated with each other having a phase. In human movements, sensory weighting is thought to change dynamically in chronological order.

1. はじめに

一般に地球上でヒトの身体運動が生じる環境には様々な物理的刺激が存在し、運動の結果は重力、光、熱などの物理的環境下での法則に従う。一方で、ヒトの身体運動的な特異性として、二足による運動や姿勢の制御があげられる。狭い支持面である足部の上に質的に重い頭部・体幹部を鉛直方向に身体体節を配列させた上で転倒を回避しており、高度に協調的なメカニズムが必要となる。ヒトの運動制御のメカニズムについては様々なモデルが提示されており、多種の感覚モダリティから入力される情報を基盤として、より高次の認知系からの制御も受けている極めて複雑で動的なシステムであるとされている。

運動や身体バランスの制御に関わる感覚については、視覚、平衡感覚や、筋や関節、皮膚などに存在する固有受容感覚や圧感覚が重要であるとされる。これらの感覚が脊髄、脳幹レベルで統合され、物理刺激による情報が信号に変換されると考えられている。加えて、Atomi らは fMRI を用いた研究により、身体バランスの不安定性に関する高次脳機能における内部モデルとして、前庭感覚や固有受容感覚に加え、自律神経系が関与する内受容感覚が影響する可能性を示し、島皮質や傍小脳核といった領域で感覚の統合が階層的に行われている可能性を示唆している(Atomi, Kikuchi et al. 2014)。また Ohkawa らは、歩行時において足底に生じる水平面状の回転モーメントであるが骨盤と足部の 3 次元空間内での位置関係と相関があることを示し、足底に多く分布する機械的刺激の受容器である mechanoreceptor の興奮が歩行時においては 3 次元空間内における各体節の位置関係を表す変数となっている可能性を示した(Ohkawa, Atomi et al. 2017)。従って、環境における物理的刺激は感覚受容体の興奮を通じて神経信号に変換され、さらに高次皮質レベルからの修飾を受けた後に、筋骨格系の協調的な活動として出力され、結果として我々の身体が有する物理量

を制御し、合目的な運動や身体バランスの制御が可能としていると考えられる。

以上よりヒトの身体運動については、これらの感覚入力に関わる因子である感覚の種類、受容器の特性に着目し、力学的な身体運動を解釈することが重要になる。本研究では、前庭系および圧感覚、固有受容感覚系の側面からヒトの身体運動について計測した。

2. 方法

2.1 対象

健康男性 1 名 (22 歳、162.0cm、55.0kg) を対象とした。実験について説明を行い、書面上で研究協力の承諾を得た。なお本研究は、帝京科学大学人を対象とする研究に関する倫理審査の承認を得て実施した。

2.2 計測課題

対象者に対して一定の動作における感覚情報の計測を目的に計測条件を設定した。動作は背臥位から立位までの一連の動作とした。動作条件は背臥位から起き上がり動作を介して長坐位となり、長坐位から立ち上がり動作を介して立位までとした。

2.3 計測項目

本研究では感覚入力の側面から以下の計測項目を設定した。

- ① 前庭系情報として、頭部に生じる加速度について、加速度センサ (3 軸加速度計・3 軸角速度計 TSND121, ATR-Promotions) を用いて計測した。
- ② 固有受容感覚情報として、頸部・体幹部・上下肢の主要な筋群について矢状面の活動を計測するため、各セグメントの屈筋群と伸筋群に電極を貼付し、携帯型多用途生体アンブ (PolymateAp1000, (株)デジックス) を用いて課題遂行時の筋活動を計測した。
- ③ 体表面の圧感覚情報として、全身の圧分布を計測する目的にて面圧計 (圧力分布測定装置 FSA/BodiTrak)、足部および足底部の圧分布を計測する目的で足底部分の圧分布

連絡先: 跡見友章, 帝京科学大学医療科学部理学療法学科
〒409-0193 山梨県上野原市八ツ沢 2525, Tel: 0554-63-4411, e-mail: atomi@ntu.ac.jp

を計測する目的にて足底部計測機器 (Footview, ニッタ株式会社製) を使用して計測した。

なお、動作はメトロノームにより 1Hz のリズムに合わせ、動作開始から終了までの 4 秒程度実施し、背臥位姿勢 5 秒、起き上がりおよび立ち上がり動作 4 秒、立位姿勢 5 秒の計 14 秒を計測区間とした。動作は 3 回実施し、計測結果において最も欠損値の少ないデータを計測条件の代表データとして採用した。

3. 結果

頭部に生じる加速度および角加速度の変化、姿勢変化による体圧分布の変化、課題遂行時の身体各部位に生じる筋活動を示す。各計測機器から入力される計測値について、姿勢および動作時における位相的な推移が確認された (図 1-3)。

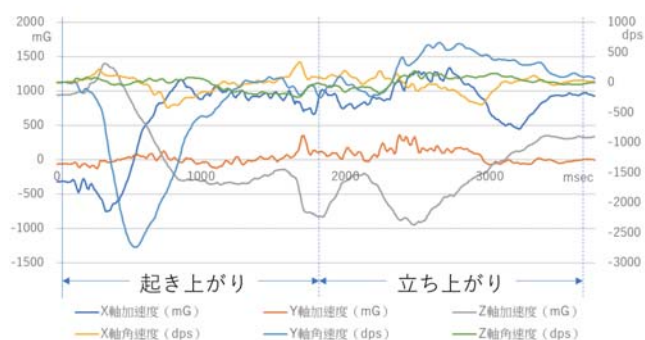


図 1. 頭部に生じる加速度および各加速度の変化

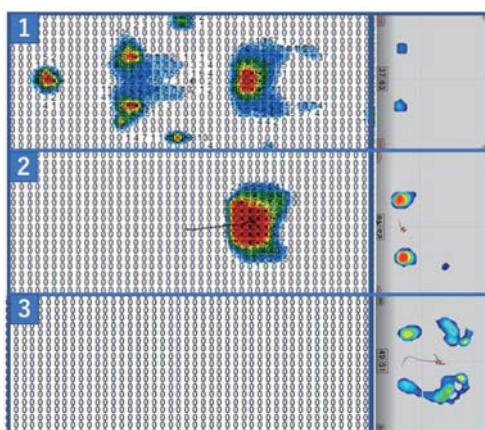


図 2. 姿勢変化による圧分布の推移

1:背臥位, 2:長坐位, 3:立位

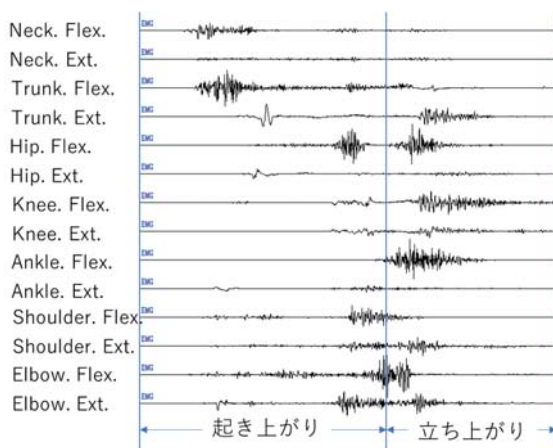


図 3. 課題動作遂行時における身体各部位の筋活動

4. 物理的身体性と感覚的身体性の相互関係

本研究の結果から、感覚入力側の側面からヒトの身体動作を検討した場合、固体としてのヒトの物理量と姿勢や動作などの形態が、多種の感覚入力の統合的な状態で表象されている可能性が示唆された。

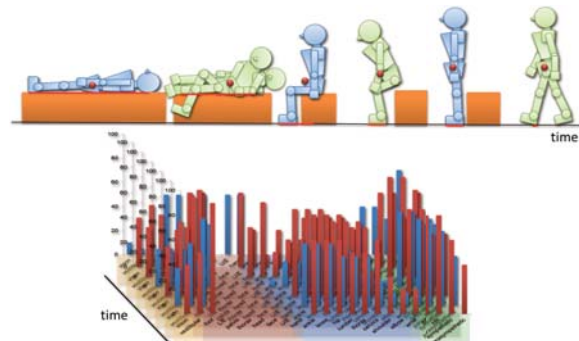


図 4. 身体運動における感覚入力の動的推移モデル

図 4 に身体運動における感覚入力量の動的推移モデルを示す。ヒトの固体としての質量は重力環境下においては凡一定であると考えられるが、その分布は姿勢や動作などの形態によって変化する。一方で感覚入力側の側面からヒトの身体運動を考えると、質量や光、重力などの物理量は感覚受容器の興奮の大きさと頻度によって神経信号に変換され、それは姿勢や動作の形態によって位相的に、また時系列的に動的に大きく変動して推移する。一方で、感覚受容器はそれぞれ機能的に刺激応答性が異なり、同じ種類の受容器であっても刺激特異的に閾値が異なっているなど、様々な特性を区別することができる。興奮の大きさと頻度に信号化された外界および身体の物理量は末梢および中枢の神経系ネットワークにて統合、階層化され内部モデルとして貯蔵されていくと考えられる。つまり身体に加わる物理量について、それをどの程度重みづけするかは、感覚受容器の数や機能によって信号化する際に増幅または減衰させており、加えてその後の神経系ネットワークにおける統合と階層化によって行っていると考えられる。

外部環境と個体に入力される物理的刺激に着目し、感覚入力側の側面から介入した実践例として、脳卒中片麻痺患者に対する治療的介入によって対象者の力学的応答能力の向上を果たすことが可能になる (高田、跡見ら, 2017) ことや、皮膚に対して感覚入力を与えるウェアにより抗重力環境における姿勢の安定性を向上させる (田中、跡見ら, 2015) ことがあげられる。従って、ヒトの身体運動の解釈には、神経系ネットワークに表象されているであろう個体の重力応答に関する内部モデルと、ヒト特有の姿勢や動作に含まれる機能的特性を理解し、実際の物理環境下における力学的応答と相互に参照することが重要である。

参考文献

- Atomi T, Kikuchi Y, et al.: Self-Recognition of One's Own Fall Recruits the Genuine Bodily Crisis-Related Brain Activity. PLoS ONE 9(12), 2014.
- Ohkawa T, Atomi T, et al.: The free moment is associated with torsion between the pelvis and the foot during gait. Gait Posture. 58:415-420, 2017.
- 高田, 跡見ら: 身体動揺の周波数応答から浮かび上がる日常動作における身体性-プリミティブな暗黙知となる動作の特性-. 第 31 回 日本人工知能学会年次大会論文集, 4L2-1, 2017.
- 田中, 跡見ら: 知の身体性の具現化-言語化された身体性に基づくウェアの開発-. 第 29 回 日本人工知能学会年次大会論文集, 2N5-OS-16b-6, 2015.