

(様式 5)

2022 年 12 月 9 日
Year Month Day

学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph.D. candidate)	工学府博士後期課程 応用化学 専攻 (major) 2015 年度入学 (Admission year) 学籍番号 15832206 氏名 田中 和哉 (student ID No.) (Name)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	跡見 順子 客員教授
論文題目 (Title)	重力環境下における姿勢調節機構に関する研究
論文要旨 (2000 字程度) (Abstract (400 words)) ※欧文・和文どちらでもよい。但し、和文の場合は英訳を付すこと。 (in English or in Japanese) <p>人の静止立位姿勢は、狭い支持面に対して身体質量中心(CoM : Center of Mass) が高く、力学的に不安定な状態である。人はこの立位姿勢を、体幹・四肢などのセグメントを足部上に配列して神経制御している。立位姿勢は、主に CoM と足圧中心位置重心制御 (CoP : Center of pressure) を巧みに制御することで重力環境下での直立二足姿勢を保っている。また、この立位姿勢は、視覚、前庭迷路、固有受容器など様々な感覚を統合して、筋骨格系への出力を制御することで成り立っている。しかしながら、人の骨格構造は非常に多分節であり、重力環境下で抗重力肢位の保持は複雑な制御を強いられることとなる。そのなかでも体幹は、最も多分節で質量比の高い部位であるにも関わらずその分節性がどのように制御されているかは明らかになっていない。また、体幹を含む上半身姿勢についてもバランスとの関係性を明らかにしているものは少ない。さらに、CoM の制御と対をなす CoP の制御に最も重要である足部についてもその剛性が重力環境下での姿勢制御に与える影響は十分に明らかになっていない。</p> <p>本論文の目的は、重力応答やバランス課題における体幹を中心とする分節的な姿勢制御を検討することである。それにより、障害の成因の解析や障害予防における知見を得ることである。本論文では、身体で最も大きな質量を持つ体幹と、立位姿勢における唯一の支持面である CoP に着目し、体幹の構造的冗長性、上半身姿勢とバランス能力、CoP 制御と重力応答の点から検討を行った。</p> <p>第 1 章では、複数の加速度センサを用いたデータ駆動型アプローチにより、立位姿勢における頭部から体幹の冗長性制御について検討を行った。その結果、感覚情報入力に違い</p>	

によって、多分節で全身の質量比が高い頭部-体幹の構造的冗長性を条件に応じて適応的に調整していることが明らかになった。

第2章では、片脚立位のバランス制御における身体重心と上半身重心および股関節機能の関係について、検討を行った。その結果、片脚立位姿勢制御においては、上半身重心の外側偏移が少なく、股関節内転位かつ立脚側への体幹側屈が少ない制御が、片脚立位バランス戦略にとって有利な姿勢であることが明らかになった。

第3章では、足部横アーチへのテーピングがジャンプ着地動作の姿勢制御動態に与える影響について検討を行った。その結果、足底横アーチ支持テープにより、足尖接地時に膝関節の制動が可能であることが明らかになった。

本論文では、第1章で重心から見る姿勢制御のミクロな解析として加速度解析からみた頭部-体幹の冗長性、第2章で重心から見る姿勢制御のマクロな解析として上半身重心や股関節体幹と身体動揺の関係、第3章で足圧から見る姿勢制御のミクロな解析として、jerk index からみた下肢関節運動制御について解析を行った。重力環境下で立位姿勢を制御するためには、冗長的な体幹運動制御が必要であり、姿勢や足部機能の変化はバランス不良や関節障害の起因となる可能性が示唆された。

細胞レベルから身体運動レベルに至るまで動的にできている身体において、モーションキャプチャのみならず、加速度センサなどの「動き」や「ダイナミクス制御」に感度のよい方法で評価する必要性を示唆することが出来た。重力環境下での姿勢制御において、立位姿勢やジャンプ動作などの抗重力応答が必要になる場面で、制御方法や姿勢の重要性とそのための理学療法の実施にも寄与することが出来るものと考えられる。今後も、動的な細胞レベルから身体運動レベルに合わせた評価系を構築することが科学・技術分野の発展にとって重要であると思われる。最後に、今後の課題についても報告する。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

The human upright posture is mechanically unstable due to high CoM relative to a narrow support surface. Humans maintain an upright bipedal posture in a gravity environment by controlling CoM and CoP. However, the human skeletal structure is highly multisegmented, and maintaining antigravity limb posture in a gravity environment is a complex control task. Although the trunk is the most multisegmented and has the highest mass ratio, it is unclear how the segmental nature of the trunk is controlled. In addition, few studies have clarified the relationship between posture and balance of the upper body, including the trunk. Furthermore, the influence of foot stiffness, the most important factor in the control of CoP, which is paired with the control of CoM, on postural control in a gravity environment has not been fully clarified. The purpose of this paper is to examine segmental postural control centered on the trunk and feet in gravity response and balance tasks. This paper focuses on the trunk, which has the greatest mass in the body, and the CoP, the only support surface in the standing posture, and examines the structural redundancy of the trunk, upper body posture and

balance capacity, CoP control, and gravity response. In Chapter 1, a data-driven approach using multiple accelerometers was used to examine head-to-trunk redundancy control in the standing posture. The results revealed that the structural redundancy of the head-trunk, which has a high whole-body mass ratio, is adaptively adjusted to the situation depending on differences in the input sensory information. In Chapter 2, the relationship between the body center of gravity, the upper body center of gravity, and hip function in balance control of the one-leg standing posture was examined. The results revealed that in one-leg standing postural control, control with less lateral deviation of the upper body center of gravity to the stance side, less hip adduction, and less trunk lateral flexion was advantageous. In Chapter 3, we examined the effects of taping to the plantar transverse arch on the postural control dynamics of jump landing movements. The results revealed that the plantar transverse arch support tape enables knee joint braking during foot landing. In the body, which is dynamically made from the cellular level to the physical movement level, we were able to suggest the necessity of evaluating "movement" and "dynamic control" from the viewpoint of segmental nature. Regarding postural control in a gravity environment, the importance of control methods and postures in situations requiring antigravity responses, such as standing posture and jumping movements, as well as their contribution to the development of physical therapy for this purpose, should be considered.