

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：32702

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25870164

研究課題名(和文)多関節協調動作としての立位姿勢制御 - その発育発達・加齢低下の機序に挑む -

研究課題名(英文) Standing balance control as a multi-joint coordinated movement: investigating mechanisms of its development and age-related decline

研究代表者

笹川 俊 (Sasagawa, Shun)

神奈川大学・人間科学部・准教授

研究者番号：90551565

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、(1)立位バランスの多関節制御の神経機構を明らかにするとともに、(2)その発育発達・加齢低下メカニズムを解明することである。健康若齢者を対象とした研究では、立位バランスの制御は多くの関節が関与する多関節動作であることが強く支持された。同時に、中枢神経系は多関節動作中に生じる力学的効果である関節間相互作用を利用した制御方略を採用していることが示唆された。また、幼児・児童および高齢者を対象とした一連の研究からは、立位バランス制御能力の発育発達や加齢低下には、関節間運動協調の構造変化を伴っていることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to reveal (1) a neural mechanism of multi-joint control of human standing balance and (2) mechanisms responsible for its development and age-related decline. From studies conducted on healthy young participants, it was clearly demonstrated that human quiet standing is a multi-joint movement, in which multiple joints contribute to balance. At the same time, it was suggested that, by taking advantage of the inter-joint interaction occurs during multi-joint movements, the central nervous system accomplishes economical control of standing balance. From studies conducted on children and healthy elderly, it was revealed that development and age-related decline of standing balance control are accompanied by changes in structure of inter-joint coordination.

研究分野：神経生理学

キーワード：立位 バランス 制御 加齢 発育発達

1. 研究開始当初の背景

超高齢社会に突入した我が国では、高齢者の転倒事故による寝たきりや転倒恐怖に起因する引きこもりが社会問題となって久しい。高齢者が救急搬送される原因の約8割は転倒であり(東京消防庁, 2015)、転倒事故により骨折が生じるケースも少なくない。高齢者の大腿頸部骨折では、その回復に長期の入院治療が必要となるため、事故後のQoLは著しく低下する。こうした社会状況の中、ヒト動作の基本姿勢である二足立位のバランス制御メカニズムを科学的に解明し、医療・リハビリテーションの現場に理論的基盤を提供することは、我々研究者が果たすべき急務である。

立位バランスの制御という運動課題は、これまで主に足関節を中心に行われる単関節動作として過度に簡略化され、分析・検討されてきた(e.g., Winter et al. 1998 *J Neurophysiol*)。これに対し、最近の研究は、立位バランスの制御は、股関節や膝関節など、複数の関節が関与する多関節動作であることを示唆している(e.g., Hsu et al. 2007 *J Neurophysiol*)。したがって、立位バランス制御の神経機構や発育発達・加齢低下のメカニズムを解明するためには、当該運動課題を、その本来の姿である多関節協調動作として分析する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、立位バランスの制御という運動課題を、多関節協調動作として取り扱い、関節間の運動協調に主眼を置いた分析を実施することを通じ、以下の二点について明らかにすることを目的とした。

- (1) 立位バランス制御の基本的な神経制御メカニズム
- (2) 姿勢制御能力の発育発達・加齢低下のメカニズム

3. 研究の方法

健常若齢者を対象とした一連の研究では、それぞれ10名前後の参加者を対象として実験を実施した。発育発達に関する研究では、25名の幼児・児童を対象に実験を実施した。加齢に関する研究では、8名の健常高齢者を対象に実験を実施した。

各実験とも、参加者は身体各標点に反射マーカを貼付した状態で、床反力計の上で安静立位姿勢を保持した。モーションキャプチャ装置を用いて反射マーカの3次元座標を取得し、座標データから身体各関節の角度・角速度・角加速度を算出した。床反力データからは、足圧中心座標および身体重心並進加速度を算出した。

4. 研究成果

雑誌論文・学会発表の研究では、上記実験データをもとに「induced acceleration analysis (以下IAA)」を実施した。IAAは、ある関節におけるトルクが身体各関節に生じさせる角加速度を定量する解析手法であり、歩行動作や投球動作などの解析に用いられることが多い。足関節と股関節から成る立位姿勢の二重倒立振子モデルを用い、IAAを援用した結果、足関節と股関節における正味のトルクは、足関節および股関節まわりに同程度の振幅で逆位相の角加速度を生じさせていることが明らかとなった。各関節において、逆位相の角加速度が互いを相殺することによって、各関節に実際に生じる角加速度の振幅は小さくなっていった。この結果は、中枢神経系は多関節動作に特有の力学的効果である慣性カップリングの性質を巧みに利用することにより、効率的な運動制御を達成していることを示唆するものである。

雑誌論文・学会発表の研究では、足関節のみからなる単倒立振子モデル、足関節と股関節からなる二重倒立振子モデル、足関節・膝関節・股関節からなる三重倒立振子モデル、いずれが安静立位バランス制御の近似モデルとして最も適切であるかを検討した。解析の結果、三重倒立振子モデルが身体重心の運動を最も良く再現可能であることが明らかになった。

雑誌論文・学会発表の研究では、立位バランス制御能力の発育発達を全身レベルで評価するための指標として、身体重心並進加速度を提案した。本研究により、身体重心並進加速度の振幅や周波数特性が年齢とともに変化することが示され、この背景には関節間の運動協調があることが示唆された。

学会発表の研究では、健常高齢者の安静立位における関節間運動協調について検討した。下肢主要3関節(足・膝・股関節)間の運動協調性を健常高齢者と健常若齢者とで比較したところ、加齢にともなう身体重心並進加速度増大の背景には、運動協調性の低下があることが示された。

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)

笹川俊・多関節モデルに基づく立位バランスの神経制御機構の解明・バイオメカニズム学会誌 39, pp179-183, 2015 (査読無)

Oba N, Sasagawa S, Yamamoto A, Nakazawa K. Difference in Postural Control

during Quiet Standing between Young Children and Adults: Assessment with Center of Mass Acceleration. *PLoS One* 10(10),pp.e0140235, 2015 (査読有)

Yamamoto A, Sasagawa S, Oba N, Nakazawa K. Behavioral effect of knee joint motion on body's center of mass during human quiet standing. *Gait and Posture* 41,pp.291-294, 2015 (査読有)

Sasagawa S, Shinya M, Nakazawa K. Interjoint dynamic interaction during constrained human quiet standing examined by induced acceleration analysis. *Journal of Neurophysiology* 111(2),pp.313-322, 2014 (査読有)

[学会発表](計 12 件)

Sasagawa S, Imura A, Nakazawa K. A new biomechanical interpretation of the ankle and hip strategies in balance control during human standing. *Neuroscience* 2016, Nov. 14, 2016, San Diego, USA.

大庭尚子, 山本暁生, 笹川俊, 萩尾耕太郎, 中澤公孝. 足圧中心動揺による小児の安静立位姿勢制御の評価. 第 24 回日本バイオメカニクス学会大会, 2016 年 9 月 14 日, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス(滋賀県草津市).

Sasagawa S, Obata H, Ogata T, Kawashima N, Nakazawa K. Age-related deterioration in multi-joint coordination increases center of mass acceleration during quiet standing in humans. *Neuroscience* 2015, Oct. 20, 2015, Chicago, USA.

笹川俊. 静止立位姿勢における関節間の力学的相互作用や協調運動. 第 23 回日本運動生理学会大会, 2015 年 7 月 25 日, 日本体育大学東京・世田谷キャンパス(東京都世田谷区).

笹川俊, 小幡博基, 河島則天, 緒方徹, 中澤公孝. 加齢に伴う関節間運動協調性の低下は静止立位時の身体重心加速度を増大させる. 第 12 回姿勢と歩行研究会, 2014 年 3 月 8 日, 興和株式会社(東京都中央区).

大庭尚子, 笹川俊, 山本暁生, 中澤公孝. 幼児の静的立位姿勢制御における非単倒立振り様の振舞い. 第 12 回姿勢と歩行研究会, 2014 年 3 月 8 日, 興和株式会社(東京都中央区).

Sasagawa S, Shinya M, Nakazawa K. Inter-joint dynamic interaction during human quiet standing examined by induced acceleration analysis. *Neuroscience* 2013, Nov. 13, 2013, San Diego, USA.

大庭尚子, 笹川俊, 中澤公孝. 身体重心加速度を用いた幼児の安静立位姿勢制御の評価. 日本体育学会第 64 回大会, 2013 年 8 月 30 日, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス(滋賀県草津市).

Oba N, Sasagawa S, Yamamoto A, Nakazawa K. A new biomechanical interpretation of results from stabilogram-diffusion analysis. 2nd Joint World Congress of ISPGR/ Gait & Mental Function, Jun. 24, 2013, Akita, Japan.

Yamamoto A, Sasagawa S, Oba N, Nakazawa K. Development of postural control in children involves functional freezing of degrees of freedom. 2nd Joint World Congress of ISPGR/ Gait & Mental Function, Jun. 25, 2013, Akita, Japan.

山本暁夫, 笹川俊, 大庭尚子, 中澤公孝. 静止立位姿勢制御能力の発達は運動自由度の機能的凍結過程を含む. 第 11 回姿勢と歩行研究会, 2013 年 3 月 23 日, 興和株式会社(東京都中央区).

Yamamoto A, Sasagawa S, Oba N, Nakazawa K. Knee joints significantly affect estimation of body kinematics in the sagittal plane during standing quietly. *Australian Neuroscience Society 33rd Annual Meeting*, Feb. 4, 2013, Melbourne, Australia.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:

種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笹川 俊 (Shun SASAGAWA)

神奈川大学・人間科学部・准教授

研究者番号：90551565

(4) 研究協力者

大庭 尚子 (Naoko OBA)

山本 暁生 (Akio YAMAMOTO)