

642 床面前後動揺下での立位姿勢保持と足関節可動域の関係

Influence of ankle joint ROM on standing posture maintenance during floor perturbation in the anterior-posterior directions

○学 小川 真申 (阪大[院])

正 東藤 正浩 (阪大基研)

正 田中 正夫 (阪大基研)

Masanobu OGAWA, Grad. Sch. Engng. Sci., Div. Mech. Sci., Osaka Univ., Toyonaka, Osaka

Masahiro TODOH, Grad. Sch. Engng. Sci., Div. Mech. Sci., Osaka Univ.

Masao TANAKA, Grad. Sch. Engng. Sci., Div. Mech. Sci., Osaka Univ.

Key Words: Biomechanics, Standing posture maintenance, Ankle joint ROM, Anterior-posterior floor perturbation

1. 緒言

短下肢装具は、リハビリテーション医療において使用される主要な補助器具であり、片麻痺者においては歩行の妨げとなる足関節の底屈を矯正する。しかしながら、装具による矯正は足関節の可動範囲を制限するため、日常的な身体運動にとって拘束となる。装具による矯正は身体動作を過剰に拘束してはならないが、足関節に加わる拘束が全身の動作に及ぼす影響を調査した例はあまり見当たらない。本研究では、床面の前後動揺下における立位保持動作を対象に、健常者の足関節可動域を短下肢装具によって制限した場合に見られる拘束の影響を調査し、立位保持に求められる下肢関節力学特性の剛体リンクモデルを用いた推定によって、装具による可動制限が身体動作にとって過剰な拘束とならない、適正な範囲を探る。

2. 方法

図1に示す装置構成によって床面前後動揺に対する立位保持実験を行う。被験者は十分な筋力、関節機能を有する成人男性5名(22.2±0.56歳)であり、両足に金属支柱付短下肢装具を着用することによって足関節可動域を制限する。被験者は擬似体感発生装置であるモーションブラットホーム(MMS-612E2, 三菱プレジジョン)上で直立姿勢をとり、乗り物の発進時のような床面の水平移動外乱に対して立位姿勢を維持する。

足関節可動域の制限には、短下肢装具の関節角度調節ねじを利用する。背屈可動域および底屈可動域を2°刻みで変化させ、背屈のみの制限を背屈0°, 2°, 4°, 6°, 底屈のみの制限を底屈2°, 0°, -2°, -4°の8通りとした。また、比較のために底背屈方向への可動域を制限しない装具を着用した場合(No Constraint:NC)を条件に加えた。

前方向および後方向の床面移動外乱の最大加速度は、前後ともLarge(0.80m/s²), Medium(0.55m/s²), Small(0.25m/s²)の3段階を設定した。慣れの影響を除くために実験前には何度か練習を行い、実験においては同一条件の試行繰り返し数は5とし、加速度の異なる外乱を不規則な順序で与えた。

足底面と床面の間には足圧センサを敷き、足圧計測システム(Pedar standard/Expert, Novel)によって足圧分布の変化をサンプリング周波数50Hzで記録した。足関節、膝関節、および股関節にはフレキシブルゴニオメータ

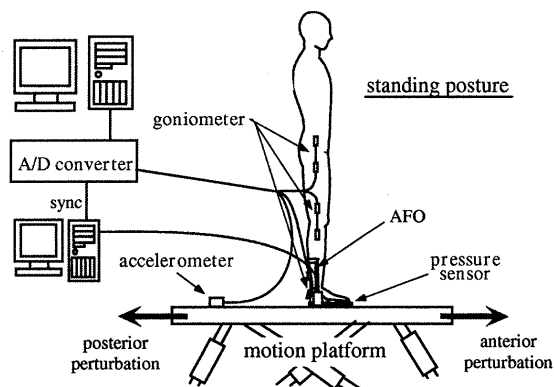


Fig. 1 Experimental setup

(M110, M180, P&G)を取り付け、各下肢関節の角度変化をサンプリング周波数250Hzで計測した。尚、関節角度は静止立位時を0として、屈曲(背屈)方向を正、伸展(底屈)方向を負とした。

得られたデータをもとに、矢状面内の立位保持動作を表す二次元リンクモデルを用いて、関節角度、足圧分布から各下肢関節の関節モーメントを算出した。モデルは足部、下腿部、大腿部、体幹部の4体節で構成し、各体節の質量比、慣性モーメントについては過去に報告されている統計値を用いた⁽¹⁾。

3. 結果

前方への床面移動外乱に対する立位保持動作では、加速度の作用に伴って足関節の背屈および膝関節の屈曲が観察された。図2a,bは結果の一例として、外乱加速度Largeにおいて底背屈方向にそれぞれ制限の最も厳しい条件である背屈制限0°, 底屈制限-4°の場合および制限を与えない場合の膝関節角度および膝関節モーメントの時間変化を示す。底屈を制限した場合、背屈位での制限によって膝関節は静止立位において既に屈曲しているものの、角度変位は可動域を制限しない場合に比べて小さかった。背屈を制限した場合も同様に膝屈曲角度の減少が見られ、可動域を小さくするにつれて減少の程度は著しくなった。また、膝関節モーメントは伸展側に作用し、加速度作用中にピークが見られた。このピークの大きさに関しては底背屈制限による違いは明確ではなかった。

外乱が作用し始めてから膝屈曲がピークとなるまでの間について、膝屈曲の角度変化に対する膝伸展モーメント

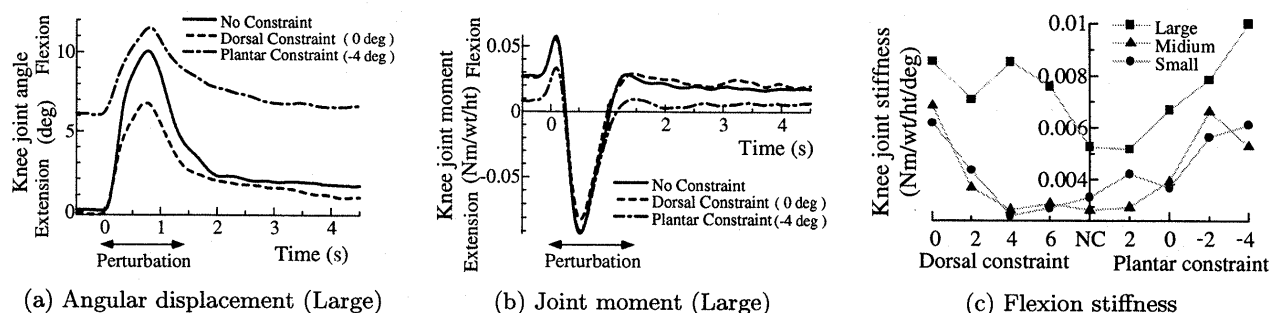


Fig. 2 Knee joint behavior during anterior perturbation

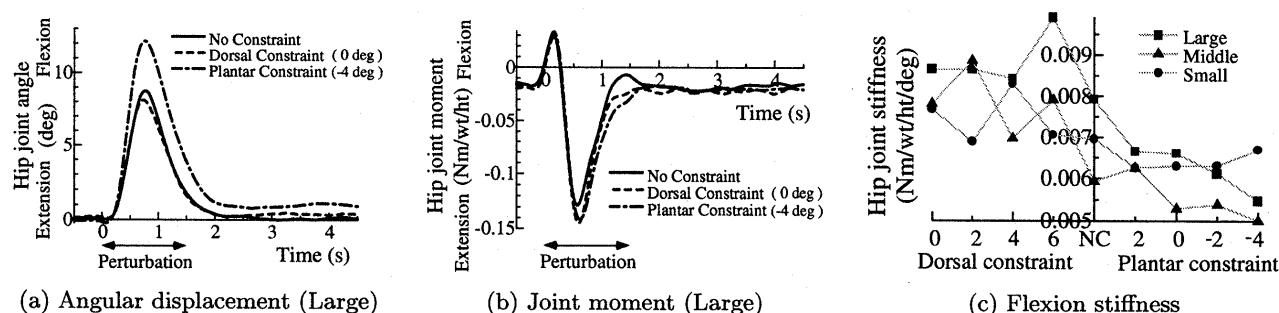


Fig. 3 Hip joint behavior during posterior perturbation

変化の割合を0.2秒刻みで計算し、平均したものを膝屈曲剛性として定義した。膝屈曲剛性は背屈制限、底屈制限のいずれの場合においても可動域の減少に伴って増大しており、外乱の最大加速度が大きい場合には、加速度が小さい場合に比べて全体的に剛性が大きかった(図2c)。

後方の床面移動外乱に対しては、加速度の作用に伴って足関節の底屈および股関節の屈曲が観察された。図3a,bには結果の一例として、外乱加速度 Large における背屈制限0°、底屈制限-4°の場合および制限を与えない場合の股関節角度および股関節モーメントの時間変化を示す。背屈を拘束した場合、股関節の屈曲角度に明確な違いは見られなかったが、底屈を拘束した場合には股関節の屈曲角度に増大が見られた。股関節モーメントは加速度作用中に伸展側に作用しており、そのピークの大きさについては底背屈制限による明確な違いは確認できなかった。

股関節屈曲角度に対する股関節伸展モーメントの変化の割合を膝屈曲剛性と同様の手順で算出し、股関節剛性とした。股関節剛性は背屈制限に伴って変化する傾向は見られないが、底屈を制限した場合には可動域の減少に伴って剛性が減少した。また、外乱加速度が小さい場合には底屈制限に伴う減少傾向はあまり見られなかった(図3c)。

4. 考察

背屈方向の可動域制限に関しては、前方への外乱が加わった場合に膝関節の屈曲角度が減少し、膝関節剛性の増大が必要となっている。これらの結果は可動域が静止立位状態より背屈側まで確保されていた場合にも見られ、外乱加速度が大きい場合には可動域が比較的大きい条件においても影響が見られる。一方、後方への外乱を加えた場合には背屈制限の影響はほとんど見られない。このことは、前方への外乱に対しては、特に大きな外乱が加わった場合に

背屈動作が重要な働きをするのに対し、後方への外乱に対してはあまり重要ではないためと考えられる。

底屈方向の可動域制限に関しては、静止立位状態より背屈位において底屈を制限した場合には、前方外乱に対しては膝屈曲の減少、後方外乱に対しては股関節屈曲の増大といった形で動作への影響が見られる。これは背屈位において底屈を制限することによって、膝関節をやや屈曲した状態で静止立位姿勢をとらなければならないことに起因すると予測される。過去の研究においては、静止立位において足関節を通常より背屈しておくことで外乱に対する姿勢安定性が増すという報告があるが⁽²⁾、本研究の結果においてはそのため代償として膝関節剛性の増大あるいは股関節剛性の減少を行わなければならない、そのための筋力調節機能が必要と考えられる。

5. 結言

本研究では、前後への床面動揺下での立位保持動作について足関節の底屈可動域制限の影響について調査した。その結果、背屈位での底屈制限および背屈制限を与えることで動作に影響が見られ、前方への外乱に対しては膝関節剛性の増大、後方への外乱に対しては股関節剛性の減少が代償作用として確認された。したがって、膝関節剛性や股関節剛性を調節するための筋力、関節機能が十分でない場合には、背屈位での底屈制限および背屈制限には十分留意した上で装具の可動域を設定する必要がある。

参考文献

- (1) 阿江通良, 湯海鵬, 横井孝志, 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定, バイオメカニズム 11, (1992), 23-35.
- (2) M. Mihelj, Z. Matajadic and T. Bajd, Postural activity of constrained subject in response to disturbance in sagittal plane, Gait and Posture, 12, (2000), 94-104.