

膝関節硬性固定装具が歩行時の隣接関節角度と荷重量へ及ぼす影響

有田 翔

要旨

【目的】膝関節硬性固定装具が歩行時の隣接関節角度と荷重量に及ぼす影響を検証した。【対象と方法】健常若年成人 17 名(男性 11 名, 女性 6 名)(平均年齢 23.0±2.9 歳)の右膝に硬性関節固定装具を装着し, 股関節の内転-外転角度, 足関節の背屈-底屈角度, 荷重量を計測した。【結果】装具歩行群では, 歩行周期を通して股関節外転角度が有意に拡大した。また, 足関節は全体として装具歩行で背屈角度が増加し, 底屈角度が減少していた。歩行周期別では, 特に遊脚期初期～中期での背屈角度拡大, 立脚期前期と終期での底屈角度減少が顕著であった。荷重量は両下肢および装具の有無で有意な差はなかった。【結論】膝関節を固定すると, 歩行時のトゥクリアランスを確保するため股関節外転角度, 足関節背屈角度を挙げる代償動作が出現すると考えられる。

はじめに

骨折や靭帯損傷など膝関節の外傷直後および術後においては, 疼痛軽減, 組織保護, 治癒促進を促す目的でギプスや硬性装具による制動性が高い外固定を行うのが一般的である¹⁻³⁾。病態によっては膝関節を固定した状態での荷重を行うことがあり²⁾, 特に膝前十字靭帯再建術直後には移植腱と骨孔を保護しながら筋力低下を予防するため, 膝固定装具での荷重歩行訓練が推奨されている⁴⁾。また, 脳血管障害, 重度変形性膝関節症, 膝関節固定術後など膝関節の可動性が制限された状態で歩行する患者も少なくない。このような症例に歩行訓練を行う場合, 健常者の正常歩行パターンを再現することは困難であり, 膝関節が固定された状態での歩行パターンを基本(目標)として介入する必要がある。

これまで脳卒中患者や変形性膝関節症患者を想定し, 膝関節可動性を装具などで制動した状態で歩行を分析した文献は散見される^{5, 6)}が, 硬性固定装具が歩行時の隣接関節に及ぼす影響について検討した先行研究は極めて少ない。

そこで本研究では, 膝関節硬性固定装具が歩行時の股関節および足関節角度に及ぼす影響を三次元動作解析にて客観的に検証することを目的とした。

対象と方法

対象は四肢の運動器疾患や神経疾患の既往がない健常成人ボランティア 17 名(男性 11 名, 女性 6 名)(平均年齢 23.0±2.9 歳)である。除外基準は, 研究期間中に四肢体幹の神経疾患もしくは運動器疾患を有する者, 研究期間中に運動を制限すべき疾患を有する者, 下肢関節に可動域制限や疼痛を有する者, 研究への参加を拒否した者とした。対象者の基本情報(年齢, 身長, 体重, 既往歴, スポーツ歴, 喫煙歴など)は事前に自記式アンケートにて収集した。本研究はヘルシンキ宣言および人を対象とする医学系研究に関する倫理指針に基づき, 対象者に本研究の内容と目的を文書及び口頭にて説明し, 研究参加への同意を得た。

1. 三次元動作解析

歩行解析ソフトウェアである Plug in Gait model (Plug-in-gait, Vicon[®]Peak 社)を参考に, 両側の上前腸骨棘, 大転子, 膝関節外側裂隙, 足関節外果, 第 5 中足骨頭の合計 10 箇所直径 14mm の赤外線反射マーカを貼付した。歩行中のマーカ座標を, 赤外線カメラ 10 台を用いた三次元動作解析装置(ローカス 3D MA-3000, アニマ社製)を用いて, サンプリング周波数 120Hz で

計測した。床反力データは4点支持型設置式フォースプレート(MD-1000, アニマ社製)を用いてサンプリング周波数 500Hz で計測し, マーカ座標データと同期させた。

2. 運動課題, 使用装具

運動課題は 3.5m の直線歩行路における歩行補助具を使用しない歩行とし, 上肢の肢位は規定しなかった。第 2 歩目以降で左右個別に床反力計に接地した試行を成功とし, 最低でも成功回数が 3 回となるまで測定した。装具歩行では, 右下肢に膝硬性固定装具(knee splint 屈曲型, 日本シグマックス社製)(図 1)をしっかりと装着し, 歩行速度は快適速度, 裸足とした。股関節, 足関節の角度は, 装具なしの静止立位の状態を 0° と定義し, 股関節は外転(プラス表示), 内転(マイナス表示)角度, 足関節は背屈(プラス表示), 底屈(マイナス表示)角度のピーク値の平均値を算出した。左右下肢の荷重量は床反力の垂直成分を抽出し, 体重で正規化した後の平均値を算出した。2 歩行周期(4 歩)分のデータを解析し, さらに足関節角度については各歩行周期を遊脚期(前・中・終期)と立脚期(前・中・終期)の 6 分割して検討した。



図 1 膝関節硬性固定装具

3. 統計学的検討

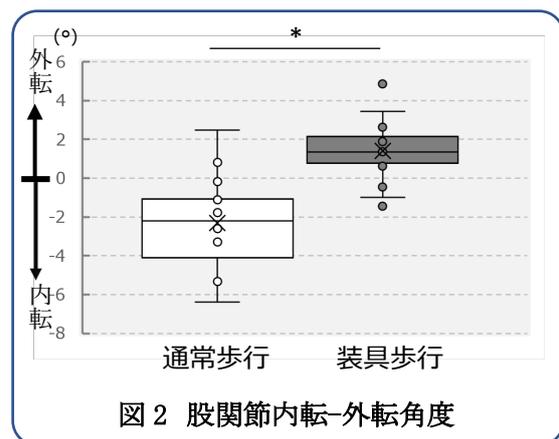
統計学的解析には Statcel3®を使用した。装具なしの通常歩行と装具歩行間での関節可動域と床反力および両下肢の荷重量は, 対応のある t 検定もしくは Mann-Whitney-U 検定による 2 群間

比較を行い, 有意水準はいずれも 5%未満とした。尚, 本研究は長崎大学大学院医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を得て実施した(許可番号:20080603)。

結果

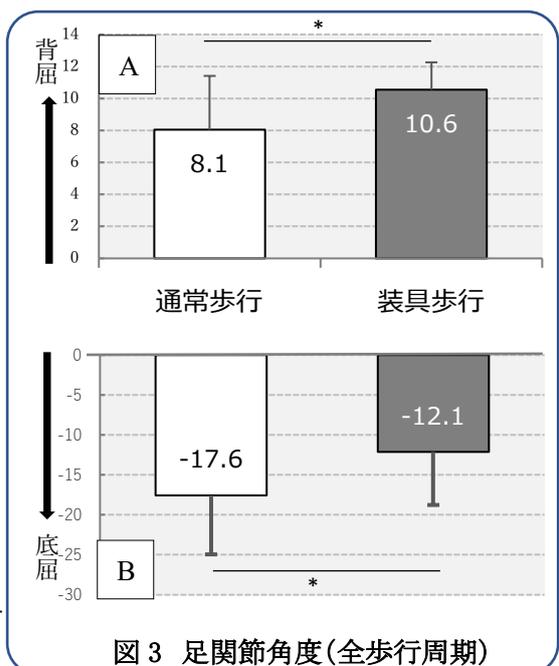
1. 股関節角度

全歩行周期における股関節内転-外転角度の平均値は, 通常歩行で内転 2.3°であったのに対し, 装具歩行では外転 1.4°であり, 装具装着によって有意に外転角度が大きくなった(図 2)。



2. 足関節角度

歩行周期全体を通じた足関節角度の平均値は, 背屈(通常歩行; 8.1°, 装具歩行; 10.6°), 底屈(通常歩行; 17.6°, 装具歩行 12.1°)であり, いずれも統計学有意差を認めた(図 3 A, B)。これを歩行周期別に分けた結果を表 1 に示す。遊脚期では前期と中期において装具歩行の足関節背屈角度が有意に拡大し, 前期から終期を通じて底屈角度は減少していた。



立脚期において、背屈角度は通常歩行も装具歩行も中期、終期が前期よりも増加する傾向を示したものの、両群間に有意な差は認められなかった。一方、底屈角度は前期と終期において装具装着した群が減少していた。

		通常歩行	装具歩行	P 値	
遊脚期	背屈	初期	0.5 (4.2)	9.4 (5.6)	<0.01
		中期	3.6 (3.4)	10.9 (6.0)	<0.01
		終期	1.8 (4.9)	5.0 (7.0)	0.05
	底屈	初期	-13.4 (6.7)	-9.3 (7.2)	0.08
		中期	-1.0 (3.8)	4.3 (7.3)	<0.01
		終期	-4.9 (5.4)	-0.7 (6.5)	0.03
立脚期	背屈	初期	4.4 (5.8)	7.6 (8.3)	0.19
		中期	12.7 (3.8)	14.2 (6.6)	0.39
		終期	12.5 (3.8)	13.8 (6.8)	0.43
	底屈	初期	-6.5 (6.0)	-3.8 (6.2)	0.04
		中期	2.4 (7.2)	4.7 (7.9)	0.23
		終期	-16.2 (4.1)	-9.7 (6.1)	0.04

(SD)

表 1 足関節角度(歩行周期別)

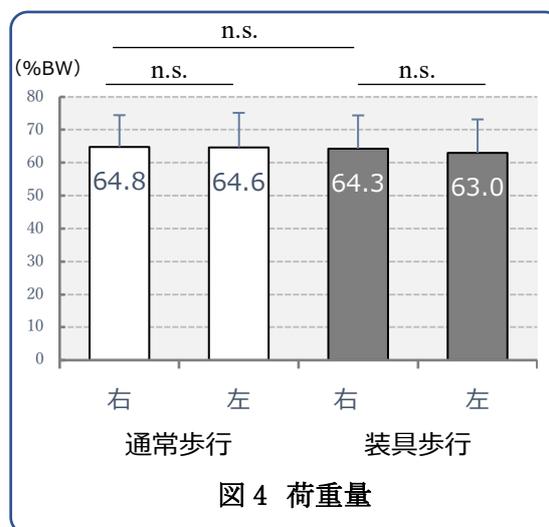
3. 下肢荷重量

左右下肢の荷重量は、通常歩行と装具歩行において左右差は認めなかった。また、右下肢荷重量についても、装具の有無で有意な差は認めなかった(図 4)。

考察

本研究では、膝関節が固定された模擬障害によって生じる隣接関節角度への影響を分析した。その結果、硬性膝固定装具の装着により歩行時の股関節の外転角度と足関節の背屈角度が増加し、足関節底屈角度が減少していた。一般的に、膝関節に固定性が高い装具やギプスを装着すると、棒状下肢となるため分回し歩行となる。

分回し歩行ではクリアランスを確保するため遊脚期に股関節を外転させる^{7,8)}。本研究では歩行周期別の股関節角度の解析には至っていないが、これが股関節外転角度増加の主要因であると考えられる。



過去に膝関節固定装具による歩行中の足関節角度を検討した先行研究は渉猟し得ない。正常歩行の立脚期では 3 つの rocker function が重要な役割を果たしているとされている。膝を伸展させて踵接地した後の heel rocker function は踵を中心とした足部の回転により下腿を前方へ前進させており衝撃を吸収する準備をしている。荷重応答期においては、足関節底屈運動に伴う足関節背屈筋群の遠心性収縮により急激な荷重に伴う衝撃を吸収する^{7,8)}。本研究で使用した膝固定装具は屈曲型であるため、踵接地よりも足底接地に近い形となり、接地時の heel rocker function が働かず、立脚期初期の足関節底屈角度が制限されたと考えられる。一方、正常歩行の立脚中期(荷重応答期)では、足関節を中心として下肢全体を回転(ankle rocker function)させて足関節底屈筋群の遠心性収縮により立脚下肢を安定させる。その後、立脚終期には前足部を中心に踵を挙上し(forefoot rocker function)、足関節底屈筋群の求心性収縮により身体重心の落下量を減少させると同時に蹴り出し(Push Off)により前進を促進させるという 2 つの重要な効果がある^{7,8)}。しかし、装具によって正常な膝屈曲が制限された状態では、適切な踵挙上による蹴りだしが阻害されるため、立脚終期の足関節底屈角度

が減少したと推察される(図5).



遊脚期では、装具歩行の前期、中期の背屈角度が増加し、中期～終期の底屈角度が減少していた。正常歩行では遊脚期に膝関節を屈曲させてトゥクリアランスと確保しつつ下肢を振り出す^{7,8)}。しかし、膝固定装具を装着した状態ではこの正常な膝関節屈曲が阻害されるため、トゥクリアランスを捻出すべく隣接する股関節を外転させると同時に足関節を背屈位に維持したと考えられる。従って、膝固定装具を使用する患者や膝関節可動域障害のある患者に歩行訓練を実施する場合、股関節や足関節での代償動作が起こることを念頭においた介入が重要である。本研究で得られた知見は、膝関節外傷治療や可動域制限を伴う高齢者リハビリテーション医療にも応用できると考える。

本研究の限界として対象者が少なく、健常若年者に限定されていることが挙げられる。山添ら⁹⁾は膝関節固定によって体幹の傾斜や上肢によるバランス補正が行われると報告しているが、本研究では体幹と上肢の動きについては解析できていない。また、膝装具を装着する歩行訓練では松葉杖などの歩行補助具を使用して荷重制限を設定されることが多い。しかし、本研究では床反力計の計測を同時に行ったため、補助具の影響については考慮できていない。今後は、対象者の幅を広げ、より実臨床に近い条件で解析していく必要がある。

まとめ

健常若年成人17名の膝関節固定装具の有無による隣接関節角度への影響を3次元動作解析装置で検討した。装具を装着した歩行では股関節外転角度が増加し、遊脚期前期～中期の足関節背屈角度増加、遊脚期中期～終期および立脚期前期と終期の足関節底屈角度減少を認めた。膝関節の可動域が制限されることにより、歩行中のトゥクリアランスを確保する代償動作を反映した影響が示唆された。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導、ご尽力を賜りました小関弘展教授ならびにご協力をいただいたボランティアの方々に心より謝意を表します。

参考文献

- 1) Knapik DM, Singh H, Gursoy S, et al: Functional bracing following anterior cruciate ligament reconstruction: A critical analysis review. *J Bone Joint Surg Rev.* 2021;9.
- 2) 米谷泰一, 辻井 聡, 濱田雅之: スポーツ障害・外傷における装具の役割. *日義肢装具会誌.* 2021; 37: 5-10.
- 3) 境 隆弘, 小柳磨毅, 中江徳彦, ほか:【新しい治療法と義肢装具】膝靭帯損傷の治療と装具療法. *日義肢装具会誌.* 2015; 31: 28-36.
- 4) 日本理学療法士協会(監修). 理学療法ガイドライン 第2版. 理学療法標準化検討委員会ガイドライン部会(編), 医学書院, 東京; 2021.
- 5) Whitehead CL, Hillman SJ, Richardson AM, et al: The effect of simulated hamstring shortening on gait in normal subjects. *Gait Posture.* 2007; 26: 90-96.
- 6) Harato K, Nagura T, Matsumoto H, et al: A gait analysis of simulated knee flexion contracture to elucidate knee-spine syndrome. *Gait Posture.* 2008; 28: 687-92.

- 7) Perry J, Burnfield J. ペリー歩行分析 正常歩行と異常歩行. 武田 功・他 (監訳), 医歯薬出版, 東京; 2012.
- 8) 江原義弘. 義肢装具における歩行評価 歩行分析の基礎 正常歩行と異常歩行. 日義肢装具会誌. 2012; 28: 57-61.
- 9) 山添大丈, 満上育久, 小川拓也, ほか: バランスとキネマティクスに着目した左膝関節固定時の歩行分析. 看護理工学会誌. 2020; 7: 33-42.

(指導教員 小関弘展)