

論文の内容の要旨

論文題目「不整地歩行における下肢関節の運動制御に関する研究」

学位申請者 五十嵐 健太

キーワード：動作解析，共収縮，歩行制御，障害物跨ぎ動作，不整地歩行

ヒトの基本的な動作で，身近な移動手段として歩行動作がある．しかし，歩行中の転倒は重大な事故の一つであり，特に高齢者の場合，運動量の低下や寝たきりにつながる．労働中の転倒も日本の問題となっており，転倒予防は喫緊の課題である．

以上のことから，転倒のメカニズムの解明をすることで転倒予防の知見を得ることを目的とし，歩行中に外乱を加えた実験課題を設定した研究がこれまで盛んに行われており，特に転倒につながる躓きに着目したものが多く，躓きを誘発する動作として，障害物跨ぎ動作や，凹凸のある路面上の歩行が挙げられる．

ヒトは歩行中，主に視覚情報入力によるフィードフォワード制御と，主に体性感覚によるフィードバック制御によって安定性を維持している．前者の場合は，常に得られる視覚情報から，歩行路上の前方にある，転倒や外乱の危険のあるものを認識し，適切な回避動作をとる準備をする．一方，フィードバック制御はフィードフォワード制御では対応できない，予測が難しい状況で反射的に安定性を維持する制御である．日常生活では，夜道や室内などといった視覚情報を入手することが困難な状況がある．この状況においても転倒予防は必要であり，ヒトの歩行制御のメカニズムの解明をすることでそのメカニズムについての知見を得ることが可能である．

主に遊脚制御として，つま先が障害物に衝突し，転倒の危険性がある障害物跨ぎ動作が挙げられる．障害物跨ぎ動作に着目した研究は多いが，それらの問題点として少数の代表値のみを分析していて，潜在的な特徴を見落としていることが挙げられる．そのため，障害物を跨ぐ際につま先の軌跡全体を分析することで特徴評価を包括的に行う必要がある．具体的には，障害物を認識することが困難な暗所での障害物跨ぎ動作時のつま先軌跡の特徴を分析することで，より詳細な障害物跨ぎ動作時のつま先の制御を解明することが必要である．

また，立脚制御として，凹凸のある路面上での歩行が挙げられる．凹凸のある路面上では，接地面が不安定であるため，微小な段差が無数に存在しそれが躓きにつながる．この状況下での歩行分析を行った研究は多いが，接地面の統制が難しいため得られたデータの変動が大きいことが指摘されている．このことから，足底面が接地時に接触する凸部の位置の違いによる下肢関節の制御のメカニズムを解明することで凹凸のある不安定な路面上

での歩行制御のメカニズムのより詳細な解明が求められる。

本研究は、不整地上での歩行制御のメカニズムの解明を目的とした。そして、遊脚制御として障害物を跨ぐ動作、立脚制御として不整地上を歩行する動作に着目し、それぞれの状況下での歩行中の動作を解析した。障害物を跨ぐ際の遊脚制御については、暗所で障害物を跨ぐ際につま先の軌跡の特徴を明らかにすることと、障害物に光情報提示を施すことによる効果を検証することとした。不整地上での歩行制御については、突起物が等間隔で並んだ路面上を歩行した際の身体運動の適応制御方式に着目し、下肢関節におけるキネマティクス、キネティクス及び下肢筋の共収縮度合の観点から足底面が接地時に接触する突起物の数及び位置の違いによる下肢関節の制御方式の相違を明らかにすることを目的とした。

第1章では、転倒の危険性について、事故の件例から説明し、転倒の予防の意義を示した。そして、障害物跨ぎ動作と凹凸のある不安定な路面上での歩行に着目し、それぞれの従来の研究成果を検討し、それら研究の問題点及び未解明な点を挙げた。それらを踏まえ、本研究の目的を、不整地上での歩行制御のメカニズムの解明とした。

第2章では、遊脚制御として、障害物跨ぎ動作に着目し、若年者を対象に明所時と暗所時の跨ぎ動作の比較・検討を行った。また、障害物に光源を設置することによる効果の検証を行った。本章では、跨ぎ動作時のつま先の軌跡に着目し、障害物を跨ぎ越す前後のつま先の挙動全体を分析した。その結果、明所条件と暗所条件では、つま先の軌跡の特徴は異なり、暗所では、障害物を跨ぎ超えた後、踵部が障害物に衝突する危険性があることを明らかにした。しかし、つま先を高く挙げ、障害物を跨ぎ超える際はつま先の移動速度を下げることで衝突した際の衝撃を抑えるような特徴が見られた。また、障害物上縁に蓄光材を貼付する方法では、その効果が認められないことを明らかにした。

第3章では、立脚制御として、凹凸のある不安定な路面上を歩行した際の下肢関節制御に着目した。従来の研究の課題の一つに、接地面が不安定であることが得られるデータの変動の要因であるということから、本実験の路面の設定は突起物を被験者の足長に合わせて等間隔に並べたものを用いた。被験者にその路面上を歩かせ、その突起物1つのみに接地した場合、突起物2つに接地した場合、突起物無しの平地歩行の3条件で比較した。その際の股関節・膝関節・足関節の運動と関節剛性を分析した。その結果、不整地歩行と平地歩行の違いについては、平地歩行では、主に股関節運動によって前方へ移動していることに対して、不整地歩行では、股関節運動を抑え、単脚支持期前半では膝関節を主体とした運動制御を行っていたことと、単脚支持期後半において、股関節伸展角度が大きいことと、不整地条件では前方に対する安定領域ぎりぎりまで歩行していたことを明らかにした。そして、この期間において、股関節パワーが負の値を示したことから、運動を抑えるような慎重な制御をしていたことが示唆された。股関節トルク不整地歩行における両脚支持期では、膝関節の運動を抑え、足関

節の剛性を高めることで脚を固定させるような制御を行っていたことを明らかにした。突起物1つのみに接地した場合と突起物2つに接地した場合の違いについては、両脚支持期では、突起物1つのみに接地した場合は膝関節と足関節の剛性を低くし、突起物2つに接地した場合は高くすることで不整地に適応していたことと、単脚支持期後半では、突起物1つのみに接地した場合は膝関節の運動を抑えることで突起物2つに接地した場合よりも慎重な運動を行っていたことを明らかにした。

第4章では、不整地歩行中における遊脚制御のメカニズムの解明のため障害物跨ぎ動作に着目した第2章の結論と、不整地歩行中における立脚制御のメカニズムの解明のため凹凸のある不安定な路面上での歩行動作に着目した第3章の結論を統括し、まとめた。

第5章では、第1章から第4章までの小括を行い、得られた成果についてまとめた。本研究の目的が達成されたことを示し、今後の展望を述べた。

以上のように、本研究は不整地上での歩行制御のメカニズムの解明を目的とし、障害物跨ぎ動作と凹凸のある不安定な路面上での歩行動作の解析を行った。障害物を跨ぐ際のつま先の挙動が明所と暗所で異なること、凹凸のある不安定な路面上で、接地した際の凸部の位置の違いによって、下肢関節の制御方式が異なるという、不整地上での歩行制御のメカニズムを新たに解明したことから、転倒予防のための、躓きの解明に貢献した。