

# 論文の内容の要旨

## 論文題目

### 連続動作遂行における先行動作の制御 — ドロップジャンプをモデルとして —

Control of the prior movement in sequential movements

- Studies on drop jump as an experimental model -

氏名 飯田 祥明

#### 第1章 諸言

人間や動物の身体運動は自身を取り巻く環境に適応的に調節され、柔軟に実行されている。このような状況下では複数の動作を連続的に遂行する場面が多くみられ、主動作による運動結果はそれに先行する動作の状態にも影響を受ける。周辺状況に応じた動作を遂行するため、人間は動作目的や動作に関する予測の可否に応じて、先行動作を変容させているものと推測される。このような臨機応変な運動を可能としている先行動作の調節の理解は、人間の周辺環境に適応的な運動の制御の解明に寄与することが期待される。

ドロップジャンプはスポーツトレーニングでよく用いられる特殊な運動形態であり、通常 30～50 cm 程度の台から飛び降り、停止することなくすぐさま両脚でジャンプする連続動作である。本論文は、この連続動作を研究モデルとし、目的とする主動作を実行する前の先行動作がいかにより制御されているのか、特に主動作の条件に応じてどのように適応的に制御されるのかを明らかにすることを目的とした。

## 研究Ⅰ 落下後の運動が確定した条件でのドロップジャンプ

### 第2章 (実験1) ドロップジャンプの最大跳躍高に影響する着地の力学的特性

実験1では、最大高到達を目的としたドロップジャンプを採用し、動作中の床反力、関節角度および筋活動パターンと跳躍高との関係を検討することにより、ドロップジャンプの最大跳躍高に影響する着地の力学的特性を明らかにすることを目的とした。

その結果、衝撃指標(体重あたりの垂直床反力ピーク値)が、跳躍高との間に有意な負の相関関係を示し、着地時の衝撃が小さいほどジャンプに移行した際の跳躍高が高くなる傾向にあることが示された。また、衝撃指標は接地前および接地直後の局面でのヒラメ筋および腹直筋の活動レベルと正の相関関係を示し、過度な筋活動によるスティフネスの増大を抑制した状態で着地することが衝撃の緩衝に重要であることが示された。さらに、衝撃指標の大きさで被験者を2群に分け筋活動パターンを比較したところ、衝撃指標が大きい群にのみ上昇局面において近位-遠位の順でピークが発生する連続的放電パターンが観察された。また、衝撃が大きい群の大殿筋の接地直後の活動水準は80-100msの範囲においてのみ衝撃が小さい群より有意に増大していた。これらの結果から、着地衝撃の大きい被験者の跳躍高が低くなる傾向の一因として、大きな衝撃によって生じた不随意的筋活動により跳躍高獲得に有利な筋活動順序パターンが阻害された可能性が考えられた。

### 第3章 (実験2) 着地衝撃緩衝トレーニングがドロップジャンプに及ぼす影響

実験1の結果から、着地時の衝撃緩衝能力の向上は、ジャンプに移行した際のパフォーマンスに影響を及ぼすことが示唆された。そこで実験2は、着地のみによるトレーニングによって、ドロップジャンプの跳躍高が増大するという仮説のもと、トレーニング前後のキネマティクス、キネティクスおよび筋電図データの変化について検討した。

着地トレーニングによって、着地およびドロップジャンプの衝撃指標は有意に減少した。トレーニング群においてはドロップジャンプの跳躍高は増加し、上昇局面における股関節の伸展トルク、パワーおよび仕事が増大した。これらの結果から着地衝撃緩衝のトレーニングの効果はドロップジャンプにも転移し、股関節の力発揮増大による跳躍高増大を導いたものと推察された。

## 研究Ⅱ 落下後の運動が不確定な条件でのドロップジャンプ

### 第4章 (実験3) 不確定条件における接地前の運動準備

研究Ⅱでは音刺激によってドロップジャンプと着地動作を切り替える研究モデルを用い、不確定な状況に適応するための着地動作について検討した。まず実験3においては、動作変更の音刺激が発生する可能性の無い条件とランダムに発生する条件における接地前の筋活動、接地時の下肢関節角度を比較することにより、不確定な状況でのジャンプにおける運動準備動態について明らかにすることを目的とした。

#### 動作を切り替えなかった不確定条件

動作を切り替えなかった不確定条件における接地時の股関節及び膝関節角度は、ドロップジャンプと着地の中間範囲の値で準備されていた。さらに接地前の筋活動量に関しても、確定条件の両動作の範囲から逸脱するものではなかった。これらの結果から、ドロップジャンプや着

地を遂行する際に動作を変更する可能性がある場合、接地前に2つの動作の中間的な運動準備がなされているものと推察された。

#### 動作を切り替えた不確定条件

動作切り替えの音刺激呈示タイミングは、確定条件との相対的なジャンプパフォーマンス（跳躍高、接地時間およびドロップジャンプ指標（跳躍高／接地時間））との間に有意な相関関係を示し、音刺激タイミングの遅延によって着地からドロップジャンプに切り替えた際のパフォーマンスが低下することが明らかになった。

また、ドロップジャンプと着地を切り替えた条件における接地時の関節角度および接地前の筋活動量の結果から、接地後からでなく滞空中からすでに動作の修正が行われていることが示された。さらに、これらの動作パラメータは音刺激のタイミングが早いほど確定条件における値に近づく傾向を示し、確定した条件における水準へ近づくよう修正されていたと推察された。

### **第5章（実験4） 不確定条件におけるドロップジャンプパフォーマンスと 接地前の運動準備との関係**

実験4では不確定条件において優れたジャンプパフォーマンスを発揮するための接地前の運動準備について明らかにするため、ドロップジャンプ指標の確定条件との相対値と接地時の下肢関節角度ならびに接地前の下肢および体幹の筋活動量との関係を検討した。

#### 動作を切り替えなかった不確定条件

足関節および膝関節の接地角度が刺激タイミングとの間に有意な相関関係を示し、両値が確定条件に近いほどドロップジャンプ指標の相対値が高くなる傾向がみられた。この結果から、膝関節および足関節の屈曲（背屈）を保ち確定条件と同程度の姿勢で接地できた被験者ほど、不確実性の増加に伴うパフォーマンスの低下を軽減できたことが示唆された。さらに、腓腹筋の接地前の筋活動量はドロップジャンプ指標の相対値との間に有意な負の相関関係を示し、筋活動量が確定条件に近いほど相対ドロップジャンプ指標が高くなる傾向が観察された。これらの結果から、腓腹筋の接地前の活動量を抑え確定条件に近い足関節角度で接地できた被験者ほど、不確実な条件でもパフォーマンスを維持できたものと推察された。

#### 動作を切り替えた不確定条件

接地時の下肢関節角度がドロップジャンプ指標の相対値との間に有意な相関関係を示し、確定条件に近い角度で接地できるほどドロップジャンプ指標が高くなる傾向がみられた。さらに、ドロップジャンプ指標の相対値はヒラメ筋の接地前の筋活動量との間に有意な負の相関関係を、前脛骨筋および大腿二頭筋の接地前の筋活動量との間に有意な正の相関関係を示し、筋活動量が確定条件に近づくほどドロップジャンプ指標が高くなる傾向が観察された。これらの結果から、着地姿勢を確定条件におけるものに近付けるように接地前の筋活動レベルを修正できた試行では、確定条件に近いジャンプパフォーマンスが維持できることが示唆された。

### **第6章（実験5） 専門競技経験が不確定条件のドロップジャンプパフォーマンス**

#### **および接地前の運動準備に及ぼす影響-バスケットボール選手と陸上競技選手の比較-**

多くの球技スポーツにおいては、時々刻々と変化する周辺選手やボールの状況に応じて即座

にジャンプ動作を遂行しなければならず、当該競技選手は不確定条件に適応した着地・ジャンプ動作を身に付けていると推測される。そこで実験5は、専門競技経験が不確定条件のジャンプパフォーマンスおよび接地前の運動準備に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、不確定条件におけるドロップジャンプ動作をバスケットボール選手と陸上競技選手との間で比較した。

確定条件および動作を切り替えない不確定条件におけるジャンプパフォーマンスに関する指標は絶対値および相対値ともに競技群間で有意な差は認められなかった。

一方で、動作を切り替えた条件においては、相対ドロップジャンプ指標が両群において音刺激のタイミングとの間に有意な負の相関関係を示したが、回帰式の傾きは陸上選手群において有意に大きく、バスケットボール選手が陸上選手よりも動作直前にジャンプ動作を要求された場合のジャンプパフォーマンス能力に長けていることが示唆された。また、確定条件に対する跳躍高と接地時膝関節角度の相対値に関しては、陸上選手群においては音刺激のタイミングとの間に有意な負の相関を示したが、バスケットボール群においては有意な相関は認められず、着地からジャンプに動作を切り替えた際の接地時の膝関節角度の増大を抑えたことが、バスケットボール群が動作を切り替える条件においてジャンプパフォーマンスの低下を軽減できた要因の一つであると推察された。

## 第7章 総括

本章では、「ジャンプの遂行条件に応じた先行する着地動作の制御」、「運動による適応」および「想定される運動制御メカニズム」を主題とする総括をおこなった。

- ✓ 最大高到達を目的とした場合はスティフネスが低く衝撃緩衝に適した動作へ、接地後の動作が不確定な状況では姿勢や筋活動を動作変更の可能性が無い場合のものに近付けるよう着地を制御することで優れたジャンプパフォーマンスが可能になる。
- ✓ 衝撃緩衝を目的とした着地トレーニングにドロップジャンプパフォーマンスの改善効果がある。また、運動経験の違いにより動作切り替え時のジャンプパフォーマンスに差が生じる。
- ✓ 着地時に大きな衝撃を受けた場合に生じる不随意の反射筋活動がその後のジャンプパフォーマンスに負の影響を及ぼす可能性がある。また、直前で動作変更を要求された場合、滞空中から姿勢の制御が行なわれており、この修正が臨機応変なジャンプ動作の遂行に重要である。

以上、本論文全体の結果から、先行する着地動作を滞空局面から条件に応じて制御しておくことが、主動作であるジャンプを状況適応的に遂行するために重要であり、そのような能力はトレーニングによって向上することが示された。これらの成果は周辺環境に適応的な運動制御機構の解明に寄与し、トレーニング・リハビリテーション手法の改良、さらにはロボット工学における応用など多方面への展開が期待される。