

ドロップジャンプ着地による動的バランス計測： 着地直後の重心動揺軌跡解析

○木村 佳記 (PT)¹⁾, 中田 研 (MD)²⁾, 松尾 知彦 (MD)²⁾, 前 達雄 (MD)²⁾, 米谷 泰一 (MD)²⁾,
小柳 好生 (AT)³⁾, 小笠原 一生 (AT)³⁾, 杉山 恭二 (PT)¹⁾, 佐藤 睦美 (PT)⁴⁾, 内田 良平 (MD)⁵⁾

¹⁾ 大阪大学医学部附属病院 リハビリテーション部

²⁾ 大阪大学大学院 医学系研究科器官制御外科学講座

³⁾ 武庫川女子大学 健康スポーツ科学部

⁴⁾ 大阪保健医療大学 保健医療学部

⁵⁾ 関西労災病院 スポーツ整形外科

緒 言

スポーツ選手の身体機能の評価は、柔軟性の評価には関節可動域測定、筋力の評価には筋力計や等速度運動機器での測定があるが、動的なバランス能力に対する定量的評価方法は少ない。我々は片脚ドロップジャンプ着地の足圧中心 (center of pressure : COP) 軌跡の分析を行い、着地と姿勢保持の動的バランス評価を試みている。先行研究において、片脚ドロップジャンプテストは着地後5秒間のCOP軌跡長が個人内では再現性が高く、かつ個人間では差があることから、個人のバランス能力を反映する再現性の高いテストであると報告した^{1),2)}。また、着地後1秒間の軌跡長が5秒間の全長の58.6%を占めることから²⁾、着地直後のCOP軌跡長の分析が重要と考えられた。

目 的

本研究の目的は、片脚ドロップジャンプの着地から1秒以内の床反力とCOP軌跡長の特性を明らかにし、動的バランス評価の指標を検討することである。

対 象

対象は、片脚の膝関節傷害で治療中の患者17名 (男性10名, 女性7名) で、健側での片脚ドロップジャンプが可能者とした。運動習慣は、競技レベル (毎日~週3回以上のスポーツ習慣) 2名, 学校および社会人のクラブ所属5名 (週2回以上のスポーツ習慣), レクリエーションレ

ベル (週1回程度のスポーツ習慣) 5名, 月1回程度の運動を行うレベル5名であった。年齢は 27.5 ± 9.3 歳 (男性 27.7 ± 9.8 歳, 女性 27.3 ± 9.3 歳), 身長は 164.1 ± 8.3 cm (男性 168.65 ± 7.1 cm, 女性 157.5 ± 5.0 cm), 体重は 65.1 ± 12.9 kg (男性 71.0 ± 12.9 kg, 女性 56.9 ± 7.2 kg), 足長は 25.0 ± 1.7 cm (男性 26.1 ± 1.4 cm, 女性 23.6 ± 0.4 cm)であった。被験者には研究内容を説明してデータの使用について同意を得た。

方 法

1. 運動課題

運動課題は、健側下肢で高さ20cmの台から30cm前方へ飛び降りて着地した後、静止姿勢を保持する「片脚ドロップジャンプテスト」を指示した。上肢は腕組みとして体から離さないようにし、着地後は下肢の屈曲位を維持しつつ、できる限り静止するよう指示した (図1)。課題は10回実施した。

2. 計測

着地後の床反力を床反力計 (BERTEC FORCE PLATE TYPE 4060H : BERTEC Corp.) を用いて、サンプリング周波数を1200Hzとして計測した。データの記録とCOP軌跡の算出には、我々が開発したソフト (テクノロジーサービス社製) を用いた。

3. 解析

後半5回のデータを分析対象とした。床反力は体重で、COP軌跡長は足長で正規化した。なお、着地から20msの計測値はバラつきが大きく、計測装置の感度の問題と考え



図1. 運動課題

front drop jump landing : 20cm台から30cm前方へのジャンプ着地を行う。上肢は腕組みとし、着地後は下肢の屈曲位を維持し、できるだけ静止姿勢を保持するように指示した。

られたため分析の対象外とした。評価項目として、着地後1秒以内の10ms毎のCOP軌跡長の全長に対する割合を算出し、次に、着地後100ms以内の床反力垂直成分 (F_z) と10ms毎のCOP軌跡長の特性を分析した。 F_z は、ピーク

ク値と、ピーク発生までの時間 (t_z) を調べた。10ms毎のCOP軌跡長は、ピーク値とピークを示す時期 (t_{cop}) を抽出し、 t_{cop} と t_z との関係調べた。また、運動能力の異なる代表例2例の結果を比較した。

結 果

1) 着地後1秒以内における100ms毎のCOP軌跡長の全長に対する割合

20 ~ 100msが全長の $34 \pm 12\%$ を占め、100 ~ 200msは $14 \pm 6\%$ 、以後の100ms区間では全て10%以下であった。

2) 着地後100ms以内の F_z とCOP軌跡長

F_z のピーク値は体重の $379.2 \pm 77.2\%$ (248 ~ 502%)で、 t_z は $65.7 \pm 11.9\text{ms}$ (40 ~ 80ms)であり、着地後100ms以内にピークを示すことが分かった。10ms毎のCOP軌跡長は、足長の $13.9 \pm 6.4\%$ (4.0 ~ 25.5%)、 t_{cop} は30 ~ 80msであり、COP軌跡長も F_z と同様に着地後100ms以内にピークを示した。全被験者の全試技において、 t_{cop} は t_z と同時期または直前10ms以内に生じていたが、これらの発生時期には個人差があった。

3) 運動能力の異なる代表例2例の比較

図2に運動能力の異なる2例のグラフを示す。症例1は、バスケットボールの社会人クラブチームに所属している男性である。症例2は月1回程度の運動を行うレクリエーションレベルの女性である。 F_z のピーク値は、症例1は $334 \pm 39\%BW$ 、症例2は $416.9 \pm 55.6\%BW$ 、 t_z は、症例1は $81.4 \pm 1.4\text{ms}$ 、症例2は $71.8 \pm 7.6\text{ms}$ 、 t_{cop} は、症例

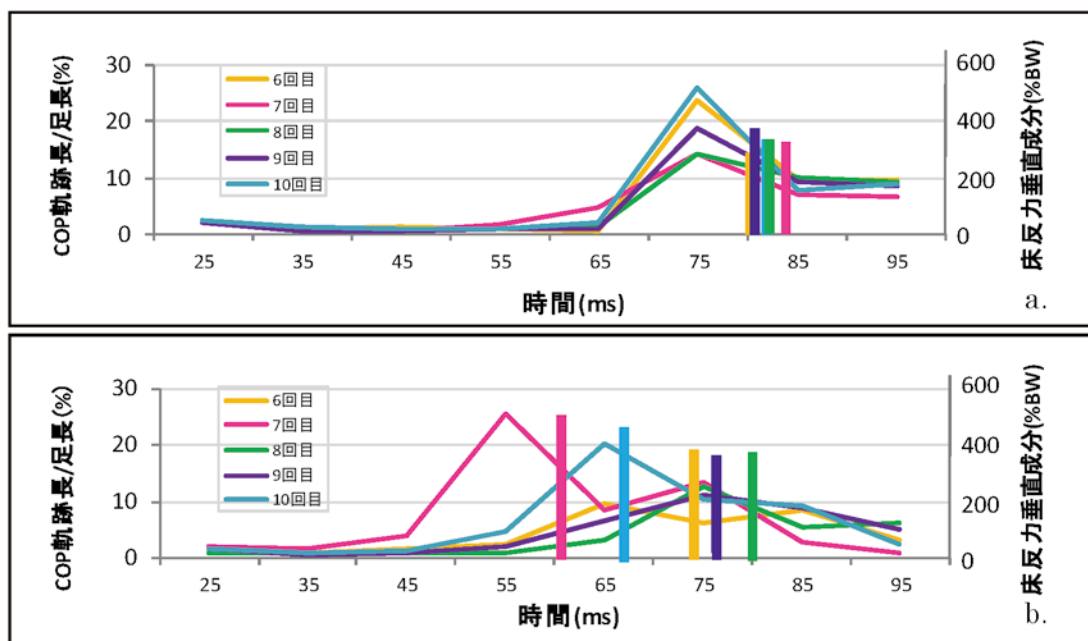


図2. 10ms毎のCOP軌跡長の変化と床反力垂直成分との関係

線グラフは10ms毎のCOP軌跡長の変化、棒グラフは床反力垂直成分の最大値とその発生時期を示す。

- a. 運動能力の比較的高い例：28歳男性，社会人バスケットボールクラブ所属。
- b. 運動能力の比較的低い例：30歳女性，運動習慣のないレクリエーションレベル。

1は70～80ms, 症例2は50～80msであり, 個人差が認められた。

考 察

着地後1秒以内の100ms毎のCOP軌跡長の全長に対する割合を算出した結果, 20～100msが全長の $34 \pm 12\%$ を占めたことから, 着地後100ms以内の床反力とCOP軌跡長が重要と考えられ, この時期の分析を行った。その結果, 着地後40～80msでFzがピークを示し, 10ms毎のCOP軌跡長がその付近で最大であることが分かった。10ms毎のCOP軌跡長のピークは, COP移動速度のピークを示すことから, 片脚ドロップジャンプの着地後30～80msにおいて, 床反力が最大になる直前またはその付近で, COPを急激に移動させて着地バランスを制御していることが考えられた。このような着地後100ms以内バランス制御は, ヒトの知覚と運動系のフィードバックによる制御では間に合わず, 着地前からのフィードフォワードによる制御が要求されると考えられる³⁾。このため, 接地直後の床反力とCOP軌跡の解析によって, フィードフォワードによる動的バランスの制御能力が評価できる可能性があると考えられた。

運動能力の異なる2例の比較では, 運動能力が高い症例1は, FzとCOP軌跡長のピーク値が小さく t_z と t_{cop} が長いことから, ゆっくりとした柔らかい着地で接地時の加速度が吸収され, 衝撃とCOPのズレが小さくなったと考えられた。このため, 症例1はフィードフォワードによるバランスの制御能力が高く, 下肢関節への負荷が小さい安全性の高い運動戦略をとっていると推察された。一方, 症例2は症例1と対照的に, Fzが大きく施行毎の t_z と t_{cop} にもバラつきがあった。このため, 接地時の加速度の吸収が不十分で一定しないことから, 下肢関節への負荷が大きく着地時のバランスの崩れも生じやすいと考えられた。こように, FzとCOP軌跡長のピーク値と時間特性には個人差があり, これらの指標は個人の動的バランス能力の評価に有用と考えられた。

本研究の限界として, 対象が片側の膝関節傷害を有する症例の健側下肢であり, 健常者の結果とは異なる可能性が挙げられる。今後, 多くのサンプルから年齢, 性別, 競技レベル, 競技種目, 傷害の有無などによる標準値を調査する必要がある。また, 切り返しやターンなど, 接地後に加速度を高めることが要求される高度な運動能力の評価には, 異なる運動課題が必要な可能性がある。しかし近年, 切り返しや着地動作の接地初期に傷害が生じるメカニズムが報告されており⁴⁾, 本研究で得られた着地直後の指標が関連すると考えている。今後, 本指標により評価した動的バランス能力と傷害発生の関係を調査していく予定である。

結 語

片脚ドロップジャンプの着地後30～80msに, FzとCOP軌跡長のピークが存在し, かつ個人差があったことから, これらの指標は個人の動的バランス能力の評価に有用と考えられた。

参考文献

- 1) 杉山恭二, 木村佳記, 佐藤陸美, 他. 動的バランス評価方法の検討: 片脚drop jump着地動作における重心動揺総軌跡長の再現性. 日本臨床スポーツ医学会誌 2011; 19 (4), 182-182.
- 2) 杉山恭二, 木村佳記, 佐藤陸美, 他. 片脚drop jump着地動作における重心動揺総軌跡長の再現性. スポーツ傷害 (J. sports Injury) 2012; 17: 40-42.
- 3) 小笠原一生, 古賀英之, 中前敦雄, 他. ビデオ解析による非接触型前十字靭帯および内側副靭帯損傷時の膝モーメント推定と受傷メカニズムの物理的考察. 日本臨床スポーツ医学会誌 2013; 21 (1), 131-141.
- 4) Koga, H. Nakamae A, Shima Y, et al.: Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. Am J Sports Med 2010; 38: 2218-2225.