



片脚ホップ着地直後の重心動揺軌跡解析による動的 バランス計測についての研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2016-11-30 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 川上, 由紀子 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00005690

大阪府立大学大学院
総合リハビリテーション学研究科
博士論文

片脚ホップ着地直後の重心動揺軌跡解析による
動的バランス計測についての研究

2016年9月
川上由紀子

目次

要約	1
第1章	
片脚ホップ着地直後の重心動揺軌跡解析による動的バランス計測の再現性 に関する研究	2
第2章	
片脚ホップ動作の運動方向の違いが動的バランスに与える影響 に関する研究	14
文献	27
謝辞	29

要約

本研究は、安全な動的バランス評価法を確立し、運動方向の違いにより動的バランス特性に差異が生じるか否かを検討する事を目的とした。

若年ボランティアを対象に、前方へ半歩の距離を片脚にてホップさせ、着地から着地後の COP(center of pressure)軌跡長と床反力垂直成分を 3 日間測定した。その結果、被験者全員怖さの訴えはなく、安全に測定が可能であった。着地後 200 ミリ秒までに床反力垂直成分のピークが存在し、200 ミリ秒までの COP 軌跡長が着地後 1 秒間の COP 軌跡長の約 50%を占めていたことから、着地後 200 ミリ秒までの COP 軌跡長(200msCOP)の解析が早期動的バランス評価として有用であることが示唆された。また、200msCOP と床反力垂直成分の級内相関係数が高値を示したため、片脚ホップ着地動作は一定の再現性を有することが明らかとなった。

対象者を増やし、前方および側方の片脚ホップを検討した結果、200ms COP、床反力前額成分及び垂直成分ピーク値が前方ホップに比べて側方ホップで有意に増大し、ホップ方向により動的バランスに差があることが明らかとなった。以上より、片脚ホップ着地動作は、前方、側方どちらの方向であっても 200 ミリ秒までの COP 軌跡長の解析が、着地早期の動的バランスの客観的評価法として有用と考えられた。

キーワード：動的バランス，片脚ホップ，足圧中心，信頼性，動的方向

Key words : Dynamic Body Balance, Single-leg Hop, Center of Pressure, reliability,
Moving Direction

第1章 片脚ホップ着地直後の重心動揺軌跡解析による動的バランス計測の再現性に関する研究

I. 緒言

バランス機能とは、重力下において身体重心を支持基底面内に維持させる、あるいは支持基底面内に戻すことにより平衡を維持する能力である¹⁾。バランス機能には、支持基底面内の保持能力である静的バランス機能と、支持基底面が移動した状態における保持能力である動的バランス機能がある。例えば、静的バランスは、運動なしで立位状態を保っている姿勢の安定性を意味し、動的バランスは、前方へ手を伸長させたり、ウォーキングなどの特定の動きを実行中の姿勢を維持する能力を示す。

先行研究において様々なバランス評価法が報告されており、代表的な静的バランス評価として、重心動揺検査²⁾、Functional Reach Test(FRT)³⁾、動的バランス評価には、Timed Up and Go Test(TUG)⁴⁾、Berg Balance Scale(BBS)⁵⁾などが存在する。スポーツ選手のトレーニングや、スポーツ傷害からの復帰リハビリテーションには、バランスの評価・向上は重要である。しかし、その運動課題は、立位保持のような静的なものではなく、ジャンプ着地や急な減速といった動きのある動的な運動が行われ、動きの中でのバランスが検討されている⁶⁾。特に、スポーツ活動中に生じる膝前十字靭帯（以下 ACL）損傷は、着地後ごく早期に発生していることが明らかとなっており^{7),8)}、着地直後の早期の動的バランス能力を測定することは重要であるが、その定量評価法に関する報告はない。一方、動的バランスの測定時に課せられる運動は重要であり、恐怖感を伴わないように安全に実施可能であることが求められる。ACL 再建術後の臨床評価では、Drop-vertical jump や Single-leg hop など^{9),10)}が頻繁に実施されているが、運動習慣のない人や早期の膝関節術後患者などには危険を伴うため、より幅広い対象者が実施できるような運動課題が必要である。

本研究の目的は、静的バランス能力の評価指標として普及している床反力計を用いて、着地早期の動的バランスの測定法を確立するため、運動課題として比較的負荷が少ない片脚ホップ着地動作を選択し、安全に行えるか否かを検討

する事、また着地直後から姿勢保持に至るまでの早期の足圧中心(center of pressure : COP)の軌跡長を測定し、動的バランスの評価法を検討する事である。

II. 研究方法

1. 対象者

対象は、運動習慣がなく両下肢に外傷歴のない若年ボランティア 10 名(男性 1 名, 女性 9 名, 平均年齢 : 23.8 ± 4.7 歳, 平均身長 : 159.9 ± 10.0 cm, 平均体重 : 51.0 ± 7.2 kg, 平均足長 : 22.8 ± 2.0 cm)とした。本研究はヘルシンキ宣言に沿った研究であり、実験に先立ち、口頭及び紙面にて本研究の目的と主旨を十分に説明し、同意を得た者を対象とした。なお、本研究は、大阪府立大学大学院総合リハビリテーション学研究科研究倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 運動課題

運動課題は、水平面上にて片脚起立から、前方へ踏み切って同脚で片脚着地する片脚ホップとした。ホップの距離は 10m 平地歩行から算出した歩幅の半分とした。上肢は胸の前で腕組みをし、着地後は下肢の屈曲位を維持して静止するように指示した。試技に慣れるために数回の練習を行い安全と再現性を目視で確認したのち、軸足である左脚で 10 回ずつ、連続しない 3 日間実施した (Fig.1)。

3. 方法

床反力データはフォースプレート (BP400600, AMTI 社) を介して動的バランス評価ソフト (テクノロジーサービス社製) を使用して、毎秒 1000 サンプルで計測した。

4. 解析方法

計測した床反力データから、着地直後 1 秒間の COP の移動距離を算出し、COP 総軌跡長 (1sCOP) とした (Fig.2)。着地から着地後 1 秒までの 100 ミリ秒毎

の COP 軌跡長を算出し 1s COP に対する割合を経時的に求めた。着地後 100 ミリ秒および 200 ミリ秒までの COP 軌跡長(100msCOP, 200msCOP)と床反力垂直成分のピーク値(Fz) (Fig.3), ピーク値の発生時間(tz)を算出した。COP 軌跡長は足長で, 床反力は体重で正規化し, 各測定値の 10 施行の平均値を算出した。なお, COP 算出にあたっては, 着地直後の Fz は極めて値が小さく COP の正確な値が算出できないため, 着地後早期の 20 ミリ秒までの期間を分析の対象外とした。

統計処理は, 連続しない 3 日間での各測定値の再現性について, 級内相関係数(ICC(1.1))を用いて統計学的検討を行い, 各被験者におけるこれらの値の分散を検討した。



Fig. 1 Measurement method

The length of hop was determined to be a half of one step, which was measured when a subject walked 10 m on flat ground. The subject was asked to cross their arms on their chest and to hop forward. After landing on the same foot, the subject was asked to maintain the flexed position of lower extremities.



Fig.2 COP trajectory length

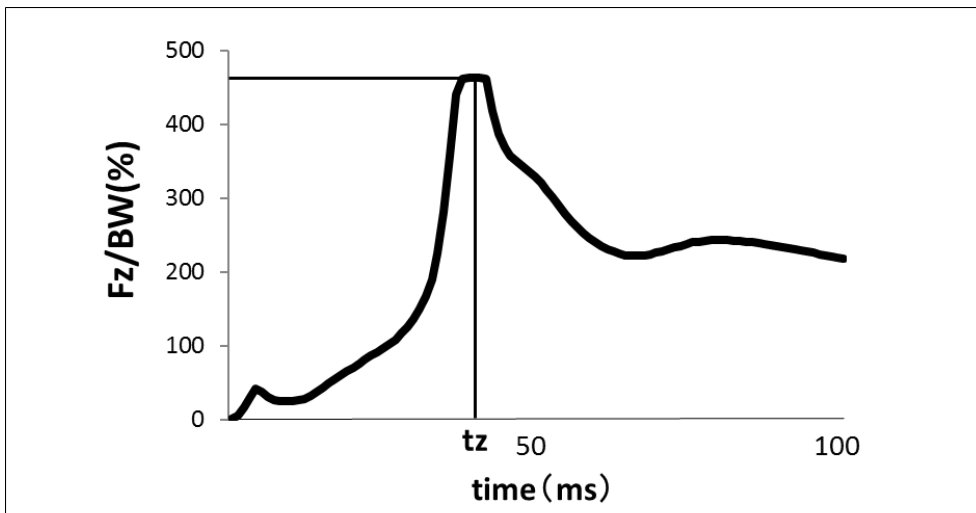


Fig.3 The peak of the vertical component of the floor reaction force (Fz), and the initiation time of the maximum value (tz)

Ⅲ. 結果

被験者全員，3日間共に怖さの訴えはなく，バランスを崩す者もおらず，安全に測定が可能であった。

1. 1秒間のCOP総軌跡長(1sCOP)

各人3日間の1sCOPの平均値を示す(Fig.4)。級内相関係数は，0.79であった(Table1)。

2. 100ミリ秒毎の1sCOPに対する割合

各測定日における1sCOPに対する割合を示す(Fig.5)。各測定日における割合は，20-100ミリ秒は1日目 $28\pm 7\%$ ，2日目 $31\pm 9\%$ ，3日目 $31\pm 8\%$ ，100-200ミリ秒は1日目 $19\pm 5\%$ ，2日目 $19.6\pm 5\%$ ，3日目 $19\pm 6\%$ であったが，200ミリ秒以後の100ミリ秒区間では3日間全て10%以下であった。

3. 100ミリ秒および200ミリ秒までのCOP軌跡長

各人3日間の100msCOP, 200msCOPの結果を示す(Table1)。人により値は異なるが，100msCOPと200msCOPの級内相関係数は，それぞれ，0.68，0.80であった。

4. 床反力垂直成分のピーク値，ピーク値の発生時間

各人3日間の床反力垂直成分のピーク値(Fz)と，ピーク値の発生時間(tz)の平均値を示す(Table2)。Fzとtzの級内相関係数は，それぞれ，0.93，0.78であった(Table1)。

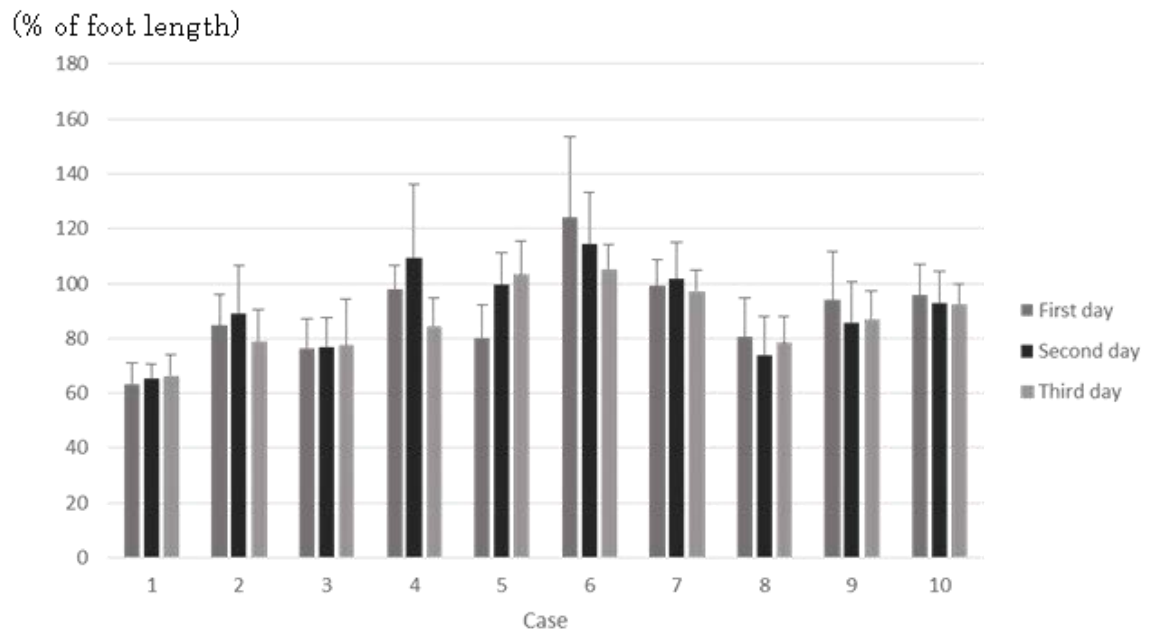


Fig. 4 Average total COP trajectory length up to 1 second during the 3 days in each subject(mean \pm SD)

Table1 Interclass correlation coefficient for each value

	1second COP	100ms COP	200ms COP	Fz	tz
ICC	0.79	0.68	0.80	0.93	0.78

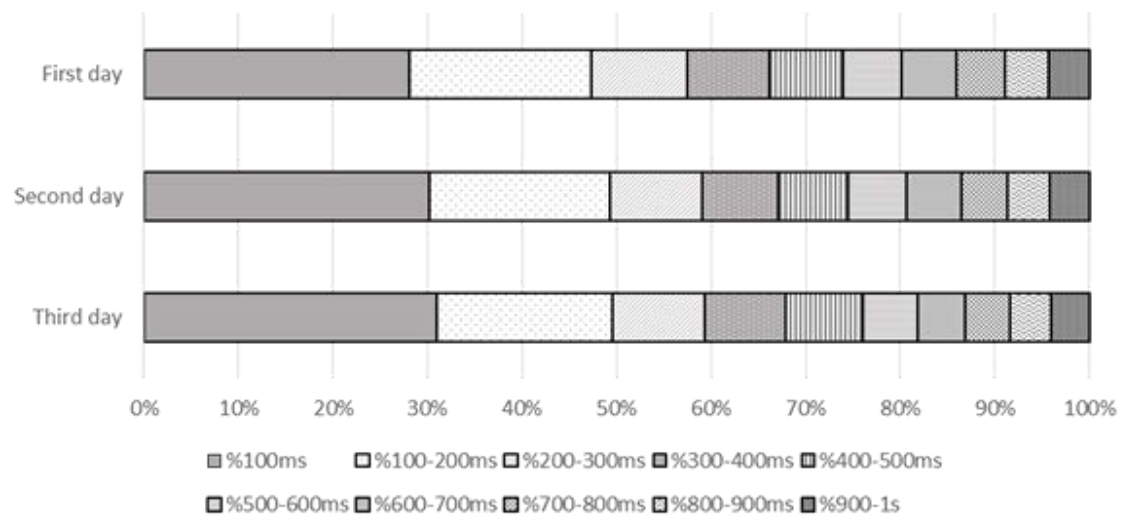


Fig. 5 Ratio for the total COP trajectory length up to 1 second after landing in each measurement day

Table2 COP trajectory lengths up to 100 and 200ms during the 3 days for each subject

100msCOP Case	First day	Second day	Third day
1	14±2	16±36	18±6
2	20±7	40±21	20±5
3	14±5	15±5	20±5
4	29±6	40±23	26±8
5	19±8	25±12	32±14
6	46±8	43±11	43±7
7	25±5	32±9	35±4
8	29±6	26±6	29±4
9	26±8	16±9	15±10
10	35±6	35±7	39±5

200msCOP Case	First day	Second day	Third day
1	29±4	32±4	35±6
2	41±10	43±13	35±8
3	32±4	29±8	31±7
4	44±4	51±15	40±9
5	38±9	53±7	55±13
6	61±12	58±13	57±6
7	41±4	46±10	46±7
8	41±10	39±7	41±5
9	41±9	35±8	38±8
10	49±6	49±9	49±5

IV. 考察

1. 動的バランスの測定の運動課題について

動的バランス測定の対象者は、高齢者、スポーツ選手や術後の患者などであるため、その運動課題には安全性が必要である。膝関節術後の機能評価において、複数の運動課題が実施されているが、20cm-30cm 高さからのジャンプを行う Drop-vertical jump⁹⁾やホップの最大距離を計測する Single-leg hop^{10),11)}では、転倒する危険性を伴う。また、生体内 ACL にストレインゲージを取り付けてホップテストを行った研究では、床反力ピーク時に ACL の緊張も最大になったと報告されており¹²⁾、傷害予防の観点からも着地時の運動強度は小さい方が望ましいと考えられる。今回の運動課題である片脚ホップ着地動作は、着地時の運動強度が両脚ともに体重の約 2 倍程度であり、全ての被験者から怖さの訴えがなかったことから、安全に実施可能な運動課題であることが推察された。Fz と tz の 3 日間の再現性を検討すると、ICC が 0.75 以上であり、一般に 0.7 以上であれば再現性が高いと報告されていることから、片脚ホップ着地動作は一定の再現性を有することが明らかとなった。また、同一被験者の 1 秒間の COP 軌跡長について、測定日間の変動は少ないが、被験者間では差があり、この差がバランス能力を反映していると考えられた。さらに、着地直後の 200msCOP と tz は測定日間の差は少なかったが、被験者間のバラつきが大きく、これらの差が個々の動的バランス能力を反映していると考えられた。

2. 早期バランス評価の値について

近年、初回 ACL 損傷のメカニズム精査のための受傷映像の検討から、受傷時期は足部接地から 100 ミリ秒以内と着地後超短期に発生すると指摘され^{9),10)}、足部に対する大腿四頭筋の反応時間は約 180 ミリ秒¹³⁾と報告されている。今回の Fz のピーク発生時間は着地後 33-162 ミリ秒の範囲であり、着地後の時間区間別の測定値は、200 ミリ秒以内が全長の 1 秒間の COP 総軌跡長の 50%を占めていたことから、前述の先行研究の結果も踏まえ、200 ミリ秒以内のバランス能力を評価する事が重要であると考えられた。そこで、COP 軌跡長の再現性を検討したところ、級内相関係数は、100msCOP が 0.68 であったのに

対し、200msCOPは0.80であったことから、200msCOP軌跡長の再現性が高いことが明らかとなった。今回の運動課題である片脚ホップ動作においては、着地後200ミリ秒までのCOP軌跡長を解析することで着地早期の動的バランス能力が再現性よく評価できると考えた。

本研究の限界として、対象者が10名と少なく、また20-30歳代の健常者に限定していることが挙げられる。バランス機能の低下は、高齢者や運動習慣のない人や早期の膝関節術後患者に多いため、対象にして人数を増やし、実験を繰り返し本研究の信頼性を高めていく必要がある。さらに、Functional Reach TestやStar excursion balance testなどの確立されたバランステストと比較することにより、この測定方法の検証をする必要がある。また、今回測定したCOPは、床反力作用点を示しており、身体重心(center of gravity : COG)とは異なる。COGは大規模な機械で測定するため簡便ではなく、またその動きは床反力の影響を受けていると言われているため、今回は簡便に測定可能であるCOPの軌跡長を測定した。

しかしながら、半歩での片脚ホップ動作はCOP軌跡長を安全に測定が可能で、再現性も高い運動課題であることから、着地早期の動的バランスの客観的評価法として有用であると考えられた。今後は、ホップの方向別の比較や運動介入による比較を行うなど、動的バランスが課題によりどのように変化するかを調査する必要がある。そして、バランス能力の劣る被験者に対して本測定法を実施し、バランス評価が可能かを検証する必要がある。

V. 結論

片脚ホップの着地後200ミリ秒までに、Fzのピークが存在し、着地後1秒間のCOP軌跡長の約50%を占め、日を変えても再現性を有していたことから、着地後200ミリ秒までのCOP軌跡長の解析が早期動的バランス評価として有用であることが示唆された。

第2章 片脚ホップ動作の運動方向の違いが動的バランスに与える影響 に関する研究

I. 緒言

スポーツ傷害からの復帰や予防のためには、筋力、柔軟性、バランス能力などの改善や向上が必要であるが、それらを客観的に評価することは重要である。筋力や柔軟性は、定量的評価法が確立されており、アスリートのトレーニングやスポーツ傷害からの復帰時のリハビリテーションの効果判定に用いられている。一方、バランス能力には、静的バランスと動的バランスがあり^{14,15)}、これまでに様々な評価法が報告されている。しかしながら、従来の動的バランスの評価法は、測定項目が時間や距離といった身体重心(COG)の動作特性を直接的に反映しないものや、運動課題がスポーツのような高度な動作を含まないものが一般であった。ヒトが立位姿勢にあるとき COG に作用する重力が足圧中心(COP)まわりに転倒モーメントが生じるが、この転倒モーメントを最小にするように身体の質量配分を逐次制御して姿勢平衡を保つ。このときの姿勢制御様相が床反力や COP の変化として計測できる。そこで、第1章ではスポーツ特有の COG 移動や急減速を模した前方片脚ホップ着地中の床反力や COP に注目した動的バランス評価法を開発し、着地後 200 ミリ秒での COP 軌跡長が動的バランス能力を反映する定量的かつ再現性の高い評価指標であることを示した。

スポーツ中の動作は前方だけにとどまらず、側方へのカッティング動作や方向転換は、相手をかかわすための重要な技術であるが、下肢には過大な床反力が作用するため、下肢外傷の好発動作として認識されている¹⁶⁾。また、高齢者の転倒は側方へも発生し¹⁷⁾、その場合は大腿骨頸部骨折を発生する割合が高い事が報告されている¹⁸⁾。そのため、全身バランスが側方へ乱されるような動作中のバランス特性が、前方への動作に比べて異なるかを理解することは、スポーツでの下肢外傷予防や高齢者の転倒予防を考える上で極めて重要である。そこで第2章での目的は、片脚ホップ着地後の COP 軌跡長と床反力ピーク値が前方ホップと側方ホップで異なるかを評価し、ホップ方向の違いによるバランス

特性の差異を明らかにすることとした。仮説は前方ホップに比べて側方ホップの方が、着地後の姿勢動揺の大きさを表す COP 軌跡長や着地衝撃の大きさを表す床反力ピーク値が増大することである。

II. 研究方法

1. 対象者

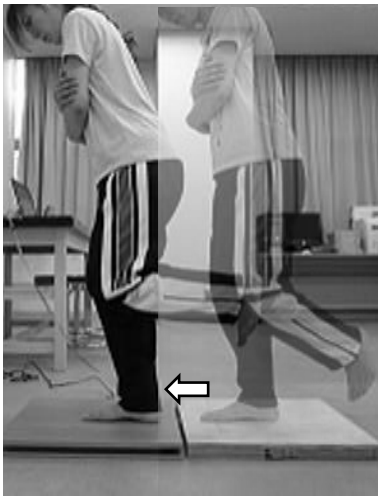
対象は、ジャンプを含む競技スポーツをしておらず、両下肢に外傷歴のない若年ボランティア 24 名(男性 9 名, 女性 15 名, 平均年齢: 22.1 ± 3.2 歳, 平均身長: 163.7 ± 8.0 cm, 平均体重: 54.4 ± 7.4 kg, 平均足長: 23.9 ± 1.9 cm)とした。実験に先立ち、ヘルシンキ宣言のもと大阪府立大学大学院総合リハビリテーション学研究科研究倫理委員会が承認した書類を用いて、対象者全員に口頭で本研究の主旨を説明し、書面での同意を得た。

2. 運動課題

運動課題は、片脚ホップ着地テストとした。本課題は、水平面上にて片脚起立から同脚でホップし、片脚着地後に静止立位姿勢を保持するものである。ホップ距離は 10m の平地歩行から算出した歩幅の半分とした。上肢は胸の前で腕組みをし、着地後は下肢の屈曲位を維持するように指示した。なお、本測定に先立ち、試技に慣れるために数回の練習を行った。本測定は、ホップ方向の条件として前方条件、側方条件を設け、各条件とも右脚と左脚で各 10 回実施した(Fig.6)。

3. 方法

床反力データはフォースプレート(BP400600, AMTI 社)を介して動的バランス評価ソフト(テクノロジーサービス社製)を使用して、毎秒 1000 サンプルで計測した。



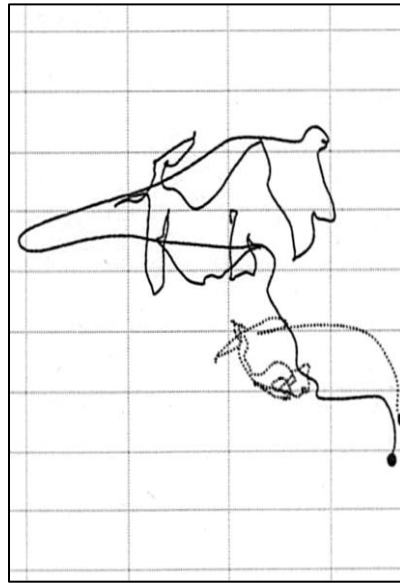
(a)



(b)

Fig. 6 Measurement method

The length of hop was determined to be a half of one step, which was measured when a subject walked 10 m on flat ground. The subject was asked to cross their arms on their chest and to hop forward (a) and lateral (b). After landing on the same foot, the subject was asked to maintain the flexed position of lower extremities.



(a)

(b)

Fig. 7 COP trajectory length of forward (a) and lateral (b)

4. 解析方法

COP の評価値として、着地後 1 秒間の COP 軌跡長(1s COP)(Fig.7), 着地後 200 ミリ秒までの COP 軌跡長(200ms COP)を算出した。また、着地から着地後 1 秒までの 100 ミリ秒毎の COP 軌跡長を算出し 1s COP に対する割合を経時的に求めた。なお、COP 算出にあたっては、着地初期は床反力垂直成分が小さく COP の正確な算出できないため、着地から 20 ミリ秒までは分析の対象外とした。床反力の評価値として、床反力前額成分ピーク値(pF_{ML}), 床反力矢状成分ピーク値(pF_{AP}), 床反力垂直成分ピーク値(pF_V)を算出した(Fig.8)。1sCOP および 200msCOP は足長で、床反力ピーク値(pF_{ML} , pF_{AP} , pF_V)は体重で正規化した。各測定値はホップ方向条件(前方, 側方), 脚条件(右脚, 左脚)ごとに 10 試行の平均 \pm 標準偏差で表した。

統計処理について、1sCOP, 200msCOP, 床反力ピーク値(pF_{ML} , pF_{AP} , pF_V) は、ホップ方向条件, 左右脚条件を要因とする 2 元配置の分散分析を行った。100 ミリ秒単位時間あたりの COP 軌跡長はホップ方向条件, 左右脚条件, 時間条件を要因とする 3 元配置の分散分析を用いた。いずれも事後検定は Tukey Honestly Significant Test を用いた。床反力ピーク値の統計解析では、事前に左右脚の主効果が認められなかったことから、ホップ方向条件, 床反力成分条件, 有意水準は 5%未満とした。

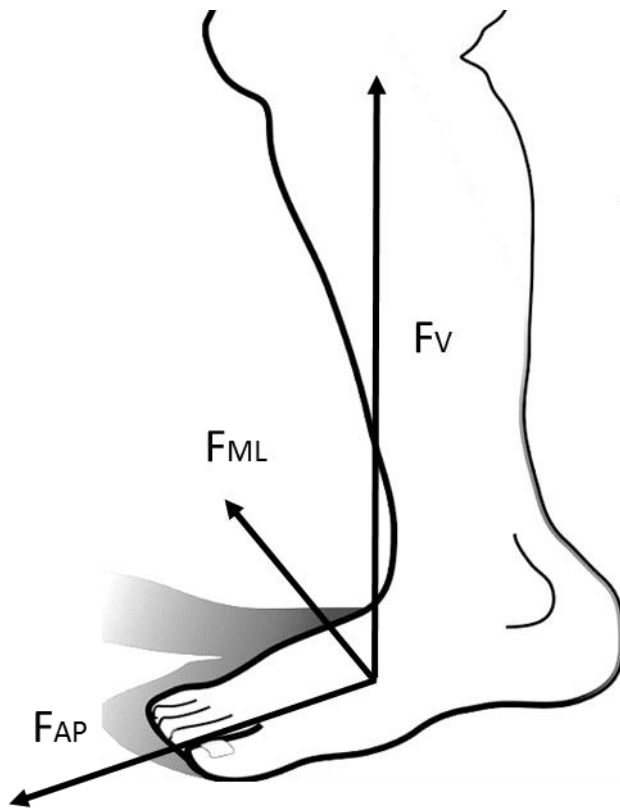


Fig. 8 F_{ML} , F_{AP} , F_v symbols denoting resolved components of ground reaction force

Ⅲ. 結果

被験者全員，前方着地，側方着地共に，怖さの訴えはなく，バランスを崩す者もおらず，安全に 10 回測定が可能であった。なお，軸足と非軸足で解析したところ差がなかったため，左右足で比較・検討した。

1. COP 軌跡長

着地後 100 ミリ秒毎の COP 軌跡長の 1sCOP に対する割合を示す(Fig.9)。単位時間当たりの COP 距離の低下は着地後 200 ミリ秒までが急峻であり，その後はなだらかであった。20-100 ミリ秒は前方着地の右脚 28%，左脚 28%，側方着地の右脚 33%，左脚 30%，100～200 ミリ秒は前方着地の右脚 17%，左脚 18%，側方着地の右脚 17%，左脚 18%であった。200 ミリ秒以後の 100 ミリ秒区間では，前方，側方ともに 10%以下であった。分散分析の結果，主効果が認められたのは時間条件のみであり，ホップ方向条件，左右脚条件ともに有意な主効果はなく，交互作用も認められなかった。事後検定の結果，20-100 ミリ秒区間，100-200 ミリ秒区間が，その後の時間区間に比べて有意に高い割合を占めており，200-300 ミリ秒区間以降の有意差を認めなかった。

1sCOP および 200msCOP を Table 4 に示す。左右脚ともに，1sCOP ではホップ方向条件，左右脚条件いずれも有意な主効果は認められなかった。一方，200msCOP ではホップ方向条件に有意な主効果が認められ，事後検定の結果，側方ホップでは前方ホップに比べて有意な高値を示した($p < 0.01$)。

2. 床反力ピーク値

床反力ピーク値の分散分析の結果，左右脚条件に有意な主効果を認めなかったことから，煩雑化を避けるため左右を平均した(Fig.10)。ホップ方向条件には有意な主効果が認められ，事後検定の結果， p_{FML} ， p_{FV} は前方ホップに比べて側方ホップで有意に高値であった($p < 0.05$)。一方， p_{FAP} は前方ホップと側方ホップで有意差は認めなかった($p = 0.47$)。

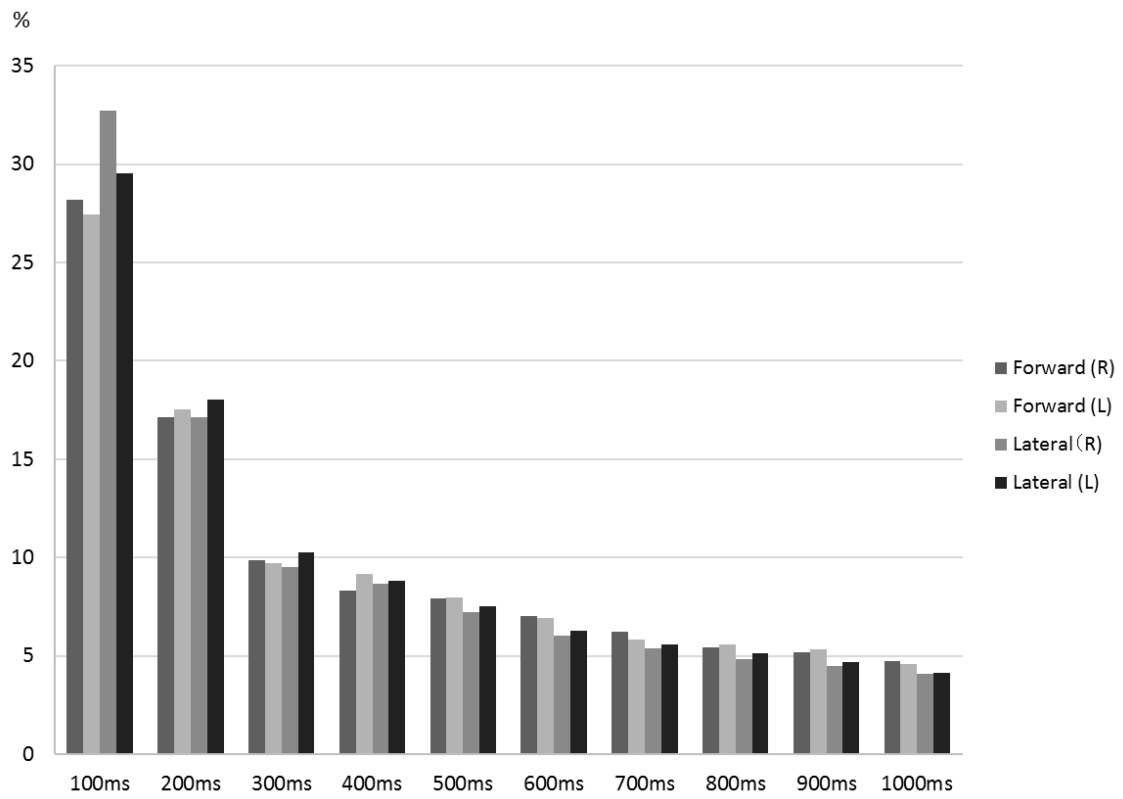


Fig. 9 Ratio for the total COP trajectory length up to 1 second after landing

Table 4 The COP trajectory length

	Leg	Forward	Lateral	p - value	Right vs Left
1sCOP (% of foot length)	Right	100 ± 21	111 ± 24	0.32	n.s
	Left	94 ± 19	107 ± 23	0.19	
200msCOP (% of foot length)	Right	44 ± 9	53 ± 11	< 0.01	n.s
	Left	41 ± 9	50 ± 11	< 0.01	

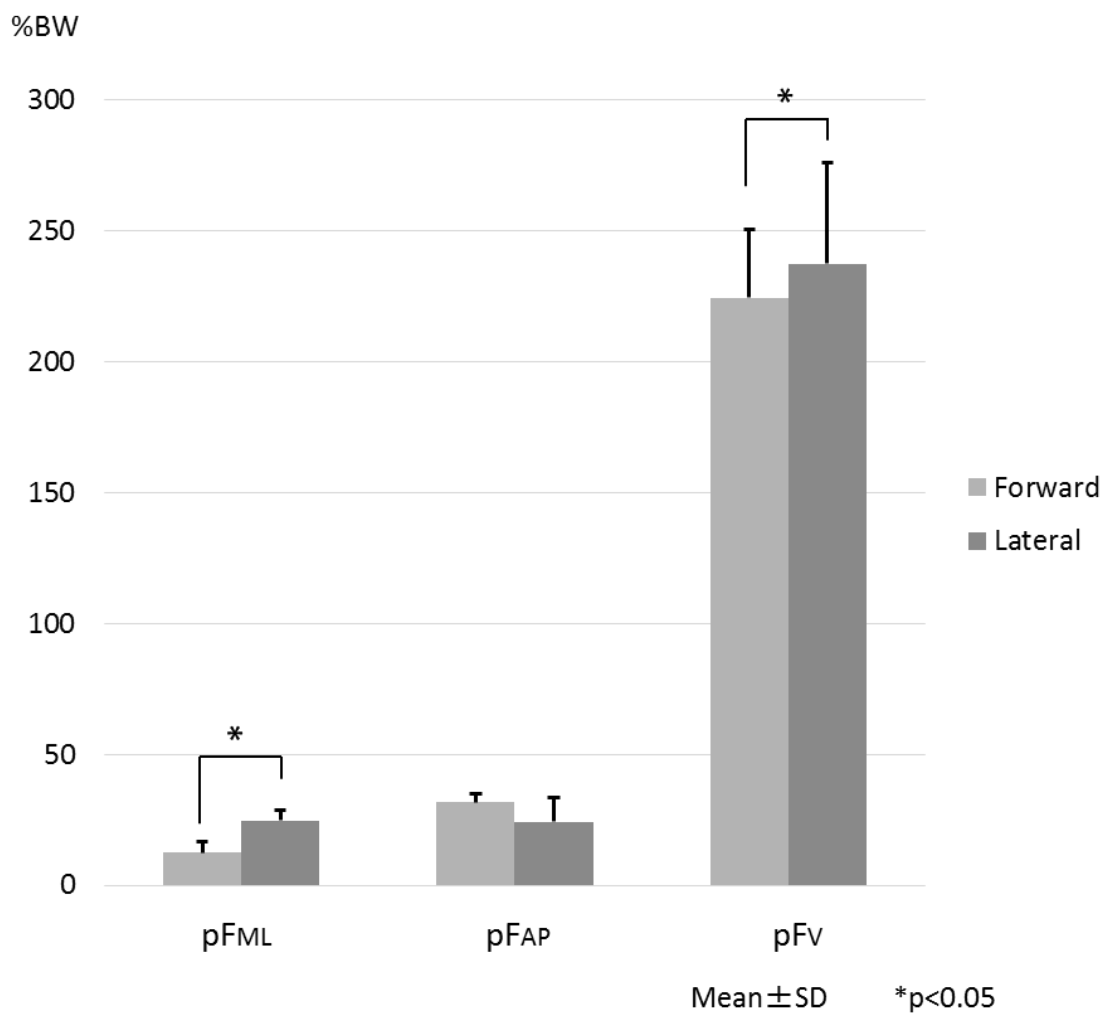


Fig. 10 Comparison of pF_{ML}, pF_{AP}, and pF_v when landing forward and when landing laterally(mean ± SD)

IV. 考察

第2章の目的は、片脚ホップ着地後の COP 軌跡長と床反力ピーク値が前方ホップと側方ホップで異なるかを評価し、ホップ方向の違いによるバランス特性の差異を明らかにすることであった。実験の結果、側方ホップにおいて着地直後の姿勢動揺を反映する 200msCOP が、前方ホップに比べて有意に高値を示し(Table4)、今回の対象者にとって側方へのホップ動作は、前方に比べてより大きな姿勢動揺を惹起する動作であったことが示された。更に、床反力ピーク値の結果でも、前額方向の衝撃を表す pF_{ML} が、側方ホップで有意に高かったことが示された(Fig.10)。Figure 9 が示す通り、着地後 1 秒間の COP 軌跡長に対する 100 ミリ秒毎の COP 軌跡長の割合は、左右脚とも着地後 200 ミリ秒までがその後の時間区間に対して有意に高く、かつ前方ホップと側方ホップ間で類似したものであった。従って、第1章にて前方ホップを用いて示した根拠と同様、側方ホップ動作においても、着地後 200 ミリ秒までの COP 軌跡長に注目した評価は有効と考えられた。

動作方向の違いを考慮した従来のバランス測定法の一つである Multi-Directional Reach Test (MDRT) は、支持基底面を固定して前後左右の 4 方向への体幹傾斜動作に基づくバランス検査であり、過去の先行研究では前方方向が最も安定していたと結論づけている¹⁹⁾。本研究でも、前方ホップは側方ホップに比べ 200msCOP が有意に低値を示し、着地後に、より安定的な姿勢制御をしていたことが示されたため、Tantisuwat ら¹⁹⁾の見解と一致する。しかしながら、本研究では COG の移動やホップ着地という、より動的な運動課題を採用しながら動作方向とバランス能の関係を検討した点が Tantisuwat ら¹⁹⁾との相違である。支持基底面が固定された条件でも、ホップ着地を伴う条件でも共通して側方への運動が不安定であったという結果は、スポーツ外傷や高齢者の転倒といった問題を考えるにあたり、前方のみならず側方バランスへ十分な配慮が必要であると示唆される。

側方ホップでは、前額面成分である pF_{ML} および垂直成分である pF_v で、前方ホップよりも有意に高値を示した。これらはいずれも着地時に地面から着地脚に対して作用したブレーキ方向の衝撃の大きさを示すものであり、これらの

方向の衝撃の大きさゆえ、側方ホップでは 200msCOP が増大したものと推察される。着地衝撃は主に下肢の 3 関節(足関節、膝関節、股関節)の屈曲により緩衝されるが²⁰⁾、前方ホップの場合には、ブレーキの床反力方向と関節の屈曲方向が沿うため、衝撃力を屈伸動作で緩衝できる。一方、側方ホップの場合、ブレーキの床反力方向が関節の屈曲方向に対して概ね 90 度の方向で作用する。足関節や膝関節は、前額方向の可動域を持たないため、この前額方向に作用するブレーキの床反力を十分に緩衝することができず、結果的に pF_{ML} や pF_V が増大したものと考えられる。それを裏付けるように、これら 3 関節が屈曲可動域を持つ矢状方向では pF_{AP} に有意差は認められなかった(Fig.10)。今後はホップ方向の違いにより生じる COP 軌跡長や床反力ピーク値への影響と、関節への力学的パラメータを検討することで、スポーツ外傷や転倒の詳細な発生メカニズムが理解されると期待できる。

本研究の限界は、対象者が 20-30 歳代の健常者に限定していたことが挙げられる。バランス機能の低下は、高齢者や運動習慣のない人や早期の膝関節術後患者に多いため、今後はこのような対象者に対して研究を行う必要がある。また、重心位置は体幹や上肢位置の影響を受けるため、今回は COP 軌跡長と床反力ピーク値のみの検討であったが、今後は床反力のピーク発生時間や下肢関節のモーメントも含めての詳細な解析として三次元動作解析の必要性がある。しかしながら、片脚ホップ着地動作は、前方、側方どちらの方向であっても 200 ミリ秒までの COP 軌跡長の解析が、着地早期の動的バランスの客観的評価法として有用であり、今後、アスリート個人のバランス能力の評価、下肢術後のバランス訓練の評価指標、左右を比較することによる下肢バランス異常の早期発見、などに臨床応用できる可能性が示唆された。今回の研究ではホップの距離を歩幅の半分としたが、距離が変われば 200msCOP の値も変わると予想でき、今後は高齢者、アスリート、術後患者など、対象者の能力に応じて距離を変えて測定する必要があると考えている。

V. 結論

着地直後の姿勢動揺を表す 200ms COP および着地衝撃の大きさを表す

pF_{ML}, pF_V が前方ホップに比べて側方ホップで有意に増大した。前方ホップ, 側方ホップ共に, 着地後 200 ミリ秒までの COP 距離が着地後 1 秒間 COP 距離の約 50%を占めていたことから, 前方ホップに加えて側方ホップにおいても, 200msCOP が着地早期の動的バランス評価として有用であることが示唆された。

文献

- 1 Nashner LM (1990) Sensory, neuromuscular, and biomechanical contributions to hormone balance. In: Duncan PM, editor. Balance: proceedings of the American Physical Therapy Association forum. Alexandria (VA): APTA, 5-12.
- 2 Murray MP, Seireg AA, Sepic SB (1975) Normal postural stability and steadiness: quantitative assessment. *J Bone Joint Surg Am*, 57:510-516.
- 3 Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, Studenski S (1990) Functional reach: a new clinical measure of balance. *J Gerontol*, 45:192-197.
- 4 Shumway-Cook A, Brauer S, Woollacott M (2000) Predicting the probability for falls in community dwelling older adults using the timed up & go test. *Phys Ther*, 80:896-903.
- 5 Blum L, Korner-Bitensky N (2008) Usefulness of the berg balance scale in stroke rehabilitation: A systematic review. *Phys Ther*, 88:559-566.
- 6 Durrell CJ, Kernozek TW, Kersten M, et al. (2011) Associations Between Single-Leg Postural Control and Drop-Landing Mechanics in Healthy Women. *J Sport Rehabil*, 20:406-418.
- 7 Bere T, Mok KM, Koga H, et al. (2013) Kinematics of anterior cruciate ligament ruptures in World Cup alpine skiing: 2 case reports of the slip-catch mechanism. *Am J Sports Med*, 41:1067-1073.
- 8 Koga H, Nakamae A, Shima Y, et al. (2010) Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med*, 38:2218-2225.
- 9 Myer GD, Ford KR, Khoury J, et al. (2010) Development and validation of a clinicbased prediction tool to identify female athletes at high risk for anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*, 38:2025-2033.
- 10 Myer GD, Schmitt LC, Brent JL, et al. (2011) Utilization of modified NFL combine testing to identify functional deficits in athletes following ACL reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*, 41:377-387.
- 11 Liu K, Glutting J, Wikstrom E, et al. (2013) Examining the diagnostic accuracy of

- dynamic postural stability measures in differentiating among ankle instability status. *Clin Biomech*, 28:211-217.
- 12 Cerulli G, Benoit DL, Lamontague M, et al. (2003) In vivo anterior cruciate ligament strain behaviour during a rapid deceleration movement: case report. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 11:307-311.
 - 13 Pope MH, Johnson RJ, Brown DW, et al. (1979) The role of the musculature in injuries to the medial collateral ligament. *J Bone Joint Surg Am*, 61:398-402.
 - 14 Brown CN, Mynark R (2007) Balance deficits in recreational athletes with chronic ankle instability. *J Athl Train*, 42:367-373.
 - 15 Davlin CD (2004) Dynamic balance in high level athletes. *Percept Mot Skills*, 98:1171-1176.
 - 16 Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, et al. (2008) Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med*, 42:394-412.
 - 17 Wikstrom EA, Tillman MD, Schenker SM, et al. (2008) Jump-landing direction influences dynamic postural stability scores. *J Sci Med Sport*, 11:106-111.
 - 18 Nankaku M, Kanzaki H, Tsuboyama T, et al. (2005) Evaluation of hip fracture risk in relation to fall direction. *Osteoporos Int*, 16:1315-1320.
 - 19 Tantisuwat A, Chamonchant D, Boonyong S (2014) Multi-directional Reach Test: An Investigation of the Limits of Stability of People Aged between. *J Phys Ther Sci*, 26:877-880.
 - 20 Decker MJ, Torry MR, Wyland DJ, et al. (2003) Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clin Biomech*, 18:662-669.

謝辞

本研究の遂行に際して、ご懇篤なるご指導、ご鞭撻を賜りました大阪府立大学大学院総合リハビリテーション学研究科堀部秀二教授に心より謹んで感謝申し上げます。

本研究全般にあたり、終始ご指導下さいました大阪大学スポーツ医学中田研教授、星ヶ丘医療センター米谷泰一先生、大阪大学大学院医学系研究科小笠原一生先生に心から深謝いたします。

本研究に対し、数々の有益なご助言やご便宜を賜りました大阪府立大学総合リハビリテーション学研究科乾博教授、吉田幸恵教授に心から感謝申し上げます。

また、本研究に際し、多大なるご厚情、ご助力をいただきました大阪府立大学大学院総合リハビリテーション学研究科高尾理樹夫助教に謹んでお礼申し上げます。

本研究は科学研究費補助金(25462302)の助成を受け実施しました。