

種目による踏切動作の違いに関する運動学的研究

角 南 俊 介

The difference of kinematics of lower limb motion
between long jump and triple jump at the take-off phase

SUNAMI Shunsuke

Abstract

The track and field is composed of long jump, high jump, triple jump and pole vault, which are developed from the basic motions of human. The long jump and triple jump are similar in regard to being running approach. The purpose of this study is to clarify the similarities and differences between the long jump and triple jump and to improve the performance of jumping based sports. Six male subjects (height : 176.4 ± 5.0 cm, weight : 70.4 ± 6.1 kg, age : 21.8 ± 1.6 year) participated in this study. Using the high speed video camera (750 fps) from the side of the subjects and calculated the translational velocity of leg and angles of knee joint, and the contact time of foot. The translational velocity of the pelvis and the knee was decreased in the long jump (long jump is 8.443 ± 0.405 m/s, triple jump is 8.025 ± 0.505 m/s). In the take-off phase, deceleration of body in the long jump is about 4.60% greater than triple jump (long jump is $13.67 \pm 3.74\%$ and triple jump is $8.30 \pm 4.60\%$). The angle of the lower extremity in the take-off, long jump is 62.08 ± 3.22 deg and triple jump is 64.72 ± 2.17 deg. The angle of knee joint at the step phase, Long Jump is 165.38 ± 6.28 deg and triple jump is 162.74 ± 5.00 deg and maximum angles of flexion of knee joint, long jump is 131.56 ± 7.92 deg and triple jump is 129.12 ± 5.73 deg. As a results of this study, findings of kinematics of long jump and triple jump revealed that : 1) In the triple jump, restricting of the running velocity is to decelerate running velocity in the take-off phase. 2) At the take-off phase, Knee extension is contributed to maximize the power associated with knee minimal flexion of the knee joint. 3) While long jump has running approach at high velocity to get large vertical force at take-off, triple jump has low translational deceleration and get smaller vertical force rather than long jump.

1. 序論

ヒトは空間を移動するための手段として直立二足での歩行動作から走動作, 跳躍動作へとその動作を変容させてきたと考えられている。その後,

規定されたルールのもとでお互いのパフォーマンスを競い合うスポーツ種目へと発展していくことになるが, 数々のスポーツ種目の中でも陸上競技はヒトの基本的な運動形態を基盤としている点
が, 他のスポーツ, 特に球技, とは異なる大きな

特徴を有している。

全般的に陸上競技には、走、跳、投などの人の基本的動作から発展してきた種目が数多くあり、跳躍系種目においては、走り幅跳び、三段跳び、走り高跳び、棒高跳びの4種目があり、それらのパフォーマンスを高める為の要因は、身体を空中へ投射させる際の初速を高めることである点は共通している。その中でも走り幅跳びと三段跳びは、“より遠くへ”飛躍することを目的としている点で共通しているものの、初速を高める為の助走動作とその後の踏切動作に違いがあることが指導書などで指摘されている。

走り幅跳びと三段跳びの運動学的な共通点としては、以下の点があげられる。

- 1) パフォーマンスが助走速度に依存し、離地時の初速度、跳躍角度、および跳躍高が跳躍距離の大部分を決定する点。
- 2) 過度な膝関節の屈曲伸展動作を行わずに踏み切ること、下腿の筋腱複合体に蓄えられた弾性エネルギーを効率的に再利用し機械的効率や発揮パワーを高める「伸張・短縮サイクル (Strech-Shortning-Cycle : 以下 SSC)」を利用している点。

一方、相違点としては、三段跳びではホップ、ステップ、ジャンプの3つの連続した跳躍運動による最高到達距離 (コンビネーション) が跳躍距離に換算されるルール上の相違点がある。また、踏切局面での助走のエネルギーを利用する行程においては、走り幅跳びでは短時間に助走の並進方向速度のブレーキロス を最小限に保ちながら、より大きな鉛直方向の速度に昇華することが重要であるとされているのに対し、三段跳びでは、助走速度から大きな鉛直方向の速度を獲得することよりも、助走速度の並進方向速度を減速することなく踏み切ることが重要であるという相違点がある。

これまで、走り幅跳びや三段跳びに関する研究は、助走動作、踏み切り動作、空中動作、及び着地動作など様々な動作局面に分類して行われてきた。走り幅跳びにおいては、助走速度と跳躍距離との間に有意な相関があること (阿江, 1996) や、膝関節伸展状態での着地の方が屈曲状態での着地よりも有利であること (深代ら, 1994) が報告されている。三段跳びを対象とした研究では、垂直地面反力が他の跳躍種目に比べて大きい傾向にあること (Hay, 1995) や、ステップの踏み切りにおける前後軸まわりの角運動量と記録との間に相関がある (Yu and Hay, 1995) ことが報告されているが、他の動作局面と同様に跳躍距離に影響を与えと考えられる踏み切り動作に関する研究報告はされていない。

そこで本研究では、走り幅跳びと三段跳びの助走動作及び踏み切り動作を対象に、2次元動作解析によって動作上の共通点と相違点を明らかにし、跳躍系種目のトレーニング方法の考案やパフォーマンスを向上させるための基礎的なデータを構築することを目的とした。

2. 方法

2-1. 実験設定

被験者には、大学体育会陸上競技部に所属し、走り幅跳び及び三段跳びの競技経験を有する男性選手6名を用いた (表1)。競技者の内訳は、跳躍競技者が3名 (三段跳3名)、短距離競技者が3名 (100m 2名, 110mH 1名) であった。実験に先立ち被験者には本研究の目的と方法および実験に伴う危険性などを十分に説明し、実験参加に対する同意を得た。

被験者には最大限の努力での跳躍を指示し、30mの助走から走り幅跳びと三段跳びを5試行行わせた。その後、跳躍距離と跳躍フォーム、被験者の試技に対する主観的評価を考慮して成功試技

表1 被験者の身体的特徴

	Height (cm)	Weight (kg)	Age(year)
A	175.7	64.2	24
B	172.8	67	21
C	179.9	80	22
D	177	73	19
E	184.3	75.2	22
F	168.6	63.2	23
Average	176.4	70.4	21.8
SD	5.0	6.1	1.6

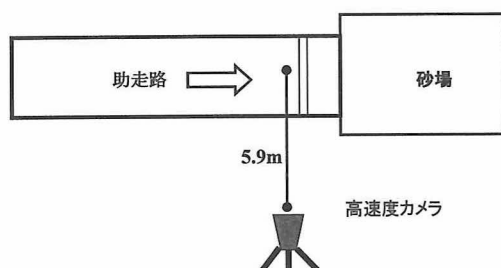


図1 実験設定図

とみなした1試行を分析の対象とした。なお踏み切り足は全被験者右足とし、スパイクシューズを着用して行った。撮影には高速度ビデオカメラ（FASTCAM ultima, Photron 社製）を被験者の左側方5.9mに設置し、750Hz（シャッタースピード1/1000）にて撮影した（図1）。

2-2. 運動学データ取得方法

被験者には右下腿5か所（右大転子、右腓骨頭、右外踝、右第5中足骨、右踵骨頭）に画像分析用の反射マーカを貼付し撮影を行った。

撮影した映像データはビデオキャプチャシステムによりパーソナルコンピュータに取り込み、デジタルソフト（Movie Ruler ver 2.01, Photron 社製）を用いて座標データを取得した。その後、各データを実長換算した後、身体各部位の位置データを算出した。

また、データの歪みを解消するため、2次のButterworth型デジタルフィルターにて遮断周波

数15-20Hzで平滑化処理を行なった。なお、遮断周波数は残差分析法（Winter, 1990）によって特定した。なお、分析の対象は、踏み切りの0.052秒前、踏み切り中、踏み切りの0.052秒後とした。

下肢関節は腓骨頭を膝関節中心、外果を足関節中心、第5中足骨をつま先及び踵骨頭を踵として各点の並進速度、膝関節角度、踏み切り関節角度、跳躍角度、足部の接地時間を算出した。

3. 結果

3-1. 走り幅跳びと三段跳びの比較

表2は運動学データの平均値と標準偏差を表わしたものである。図2・3は全被験者の並進速度を平均し、接地前後0.052秒間の変化を表わしたグラフである。

図2から、踏み込み時の並進速度に関して、外踝、踵、つま先のマーカにおいては同様の速度の増減が見られるが、骨盤、膝については走り幅跳びの速度減少が大きかった。また、表2から踏み込み時の平均並進速度は、走り幅跳びが $8.443 \pm 0.405\text{m/s}$ 、三段跳びが $8.025 \pm 0.505\text{m/s}$ で走り幅跳びの方が大きい傾向が見られた。

図3からは、踏み切り後の並進速度について、全てのマーカにおいて三段跳びの方が大きい傾向が見られたが、骨盤はそれ程大きな差は見られなかった。踏み切り後の平均並進速度では、

表2 全被験者の運動学データ (平均値と標準偏差)

	Long Jump	Triple Jump
Final Horizontal Velocity	$8.443 \pm 0.405\text{m/s}$	$8.025 \pm 0.505\text{m/s}$
Take-off Horizontal Velocity	$7.283 \pm 0.393\text{m/s}$	$7.359 \pm 0.311\text{m/s}$
Percent Loss	$13.67 \pm 3.74\%$	$8.30 \pm 4.60\%$
Final Vertical Velocity	-0.129 ± 0.280	-0.163 ± 0.187
Take-off Vertical Velocity	$2.686 \pm 0.368\text{m/s}$	$2.194 \pm 0.253\text{m/s}$
Approach Angle	$62.08 \pm 3.22\text{deg}$	$64.72 \pm 2.17\text{deg}$
Knee Angle When Contact	$165.38 \pm 6.28\text{deg}$	$162.74 \pm 5.00\text{deg}$
Knee Angle Full Flex	$131.56 \pm 7.92\text{deg}$	$129.12 \pm 5.73\text{deg}$
Contact Time	$0.12556 \pm 0.00838\text{s}$	$0.12511 \pm 0.00724\text{s}$
Take-off Angle	$22.78 \pm 3.38\text{deg}$	$18.68 \pm 1.99\text{deg}$
Distance Jumped	$5.98 \pm 0.09\text{m}$	$4.81 \pm 0.31\text{m}$

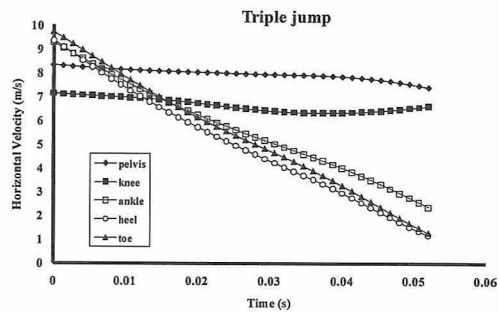
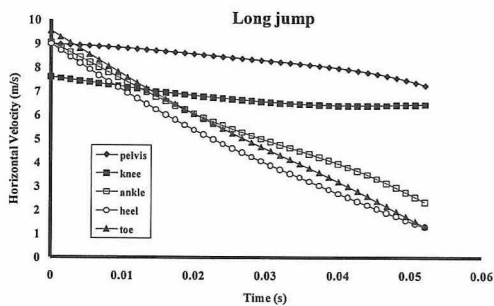
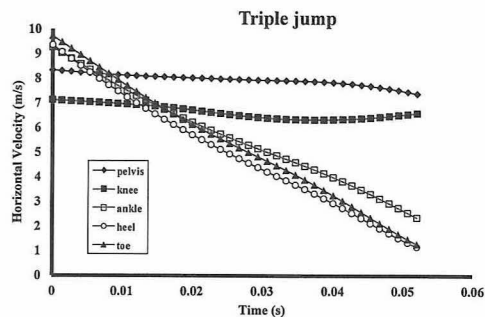
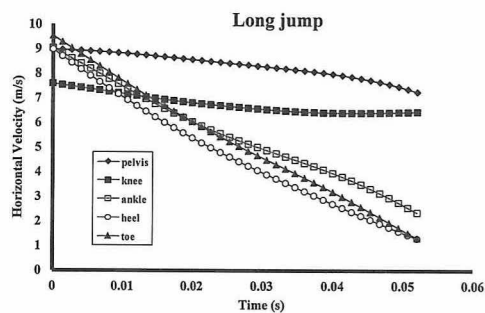


図2 踏み込み時の並進速度 (走り幅跳びと三段跳び)

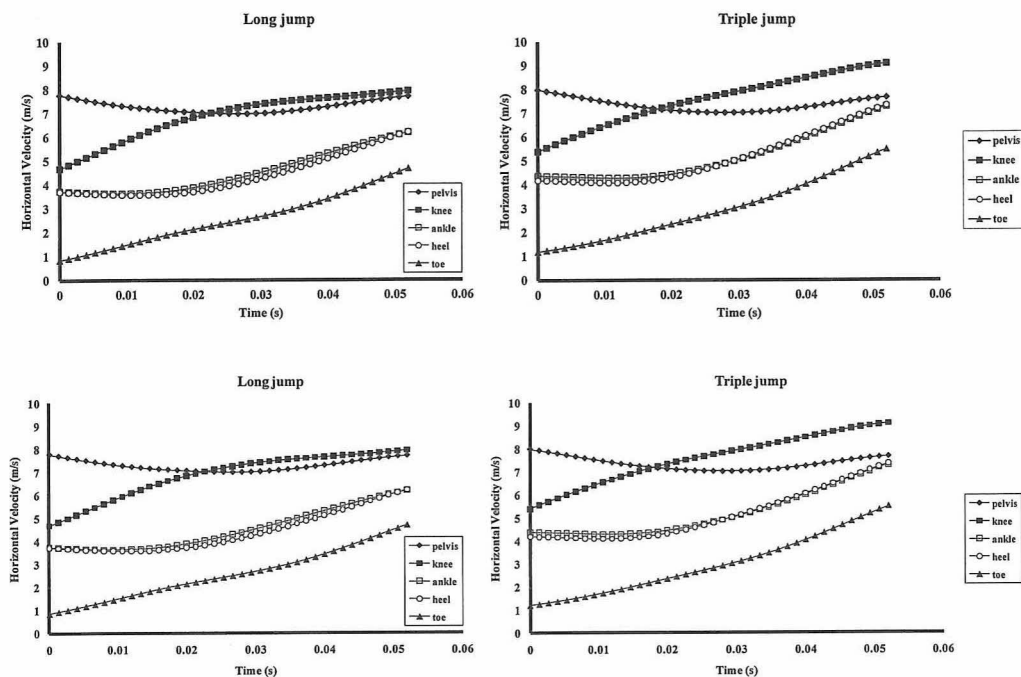


図3 踏み切り後の並進速度 (走り幅跳びと三段跳び)

7.283 \pm 0.393m/s, 7.359 \pm 0.311m/s で三段跳びの方が大きい傾向が見られた。また、踏み切りによるプレーキロス、走り幅跳びが13.67 \pm 3.74%, 三段跳びが8.30 \pm 4.60%で走り幅跳びの方が大きい傾向が見られた。

踏み込み時の下肢の入射角度は、走り幅跳びが62.08 \pm 3.22deg, 三段跳びが64.72 \pm 2.17degで走り幅跳びの方が後傾していた。また、踏み込み時の膝関節角度は、走り幅跳びが165.38 \pm 6.28deg, 三段跳びは162.74 \pm 5.00deg, 接地中の膝関節角度最大屈曲においては走り幅跳びが131.56 \pm 7.92deg, 三段跳びが129.12 \pm 5.73degで、ともに三段跳びの方が屈曲していた。跳躍角度は、走り幅跳びが22.78 \pm 3.38deg, 三段跳びにおいて18.68 \pm 1.99degで、走り幅跳びの方が高く跳躍している傾向が見られた。

なお、実験記録は走り幅跳びが、5.98 \pm 0.09m, 三段跳びが、4.81 \pm 0.31mであった。

3-2. 走り幅跳びと三段跳びの比較 (競技経験者)

図4・5は競技経験者の並進速度を平均し、接地前後0.052secで表したグラフである。また、表3は競技経験者の走り幅跳びと三段跳びのグラフの平均値と標準偏差を数値化した表である。

図4から、踏み込み時の並進速度を比較すると、全てのマーカーにおいて同様の速度の減少が見られるが、骨盤、膝については速度減少の差が大きかった。また、競技経験者の踏み込み時の平均並進速度は、走り幅跳びにおいて8.316 \pm 0.480m/s, 三段跳びにおいて8.203 \pm 0.557m/sで、走り幅跳びの方が大きい傾向が見られた。

図5からは、踏み切り後の並進速度について、全てのマーカーにおいて三段跳びの方が大きい傾向が見られたが、特に膝、外踝、踵、つま先に強くその傾向が見られた。踏み切り後の平均並進速度は走り幅跳びが6.961 \pm 0.269m/s, 三段跳びが7.316 \pm 0.195m/sで、三段跳びの方が大きい傾向

表3 競技経験者の運動学データ (平均値と標準偏差)

	Long Jump	Triple Jump
Final Horizontal Velocity	$8.316 \pm 0.480\text{m/s}$	$8.203 \pm 0.557\text{m/s}$
Take-off Horizontal Velocity	$6.961 \pm 0.269\text{m/s}$	$7.316 \pm 0.195\text{m/s}$
Percent Loss	$16.16 \pm 2.82\%$	$10.49 \pm 5.18\%$
Final Vertical Velocity	$-0.265 \pm 0.274\text{m/s}$	$-0.262 \pm 0.209\text{m/s}$
Take-off Vertical Velocity	$2.934 \pm 0.358\text{m/s}$	$2.275 \pm 0.088\text{m/s}$
Approach Angle	$59.18 \pm 1.22\text{deg}$	$63.12 \pm 1.90\text{deg}$
Knee Angle When Contact	$169.17 \pm 6.99\text{deg}$	$165.22 \pm 5.47\text{deg}$
Knee Angle Full Flex	$132.88 \pm 6.97\text{deg}$	$132.38 \pm 3.66\text{deg}$
Contact Time	$0.13067 \pm 0.00436\text{s}$	$0.12666 \pm 0.00377\text{s}$
Take-off Angle	$25.36 \pm 2.25\text{deg}$	$19.67 \pm 0.66\text{deg}$
Distance Jumped	$5.99 \pm 0.01\text{m}$	$5.11 \pm 0.06\text{m}$

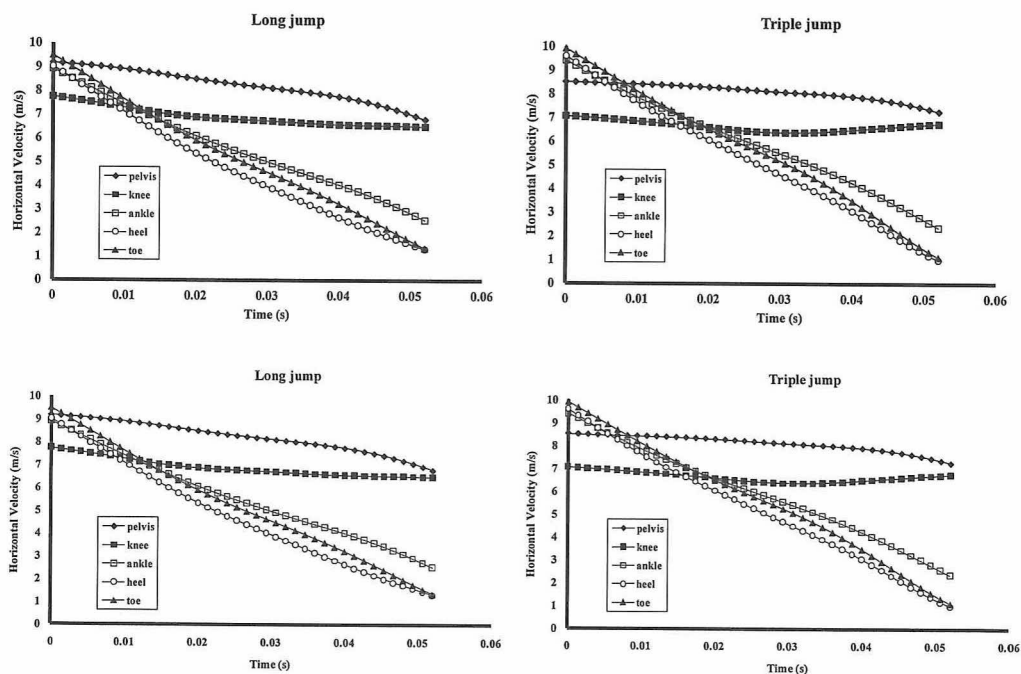


図4 競技経験者の踏み込み時の並進速度

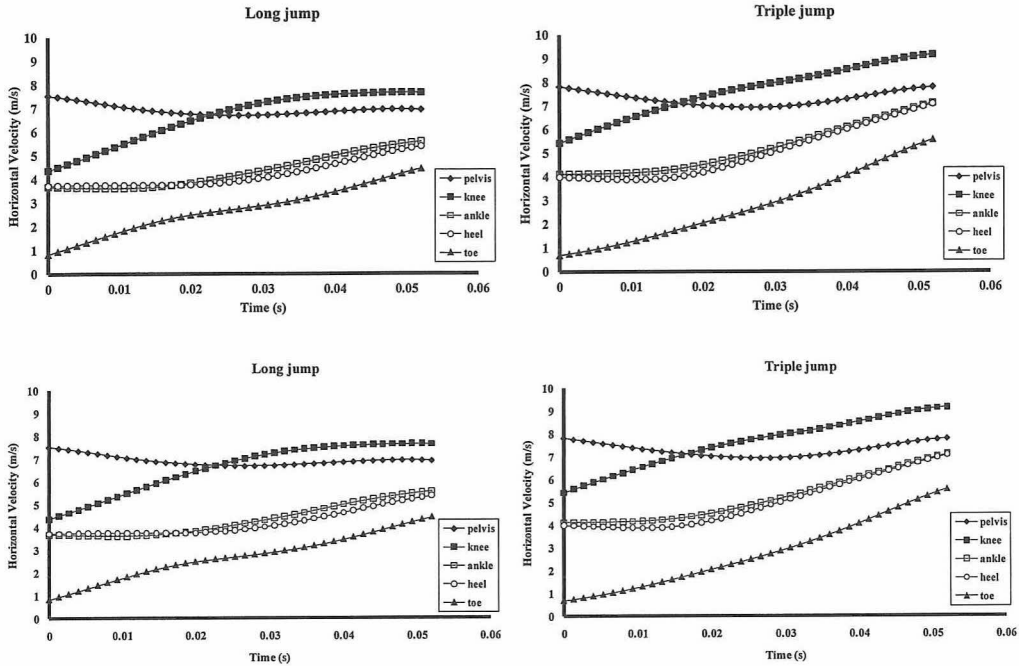


図5 競技経験者の踏み切り後の並進速度

が見られた。この時の接地前後におけるブレーキロス率は走り幅跳びが $16.16 \pm 2.82\%$ 、三段跳びが $10.49 \pm 5.18\%$ で、走り幅跳びのブレーキロスの方が大きい傾向が見られた。

接地時間は、走り幅跳びが 0.13067 ± 0.00436 sec、三段跳びが 0.12666 ± 0.00377 sec で差が見られなかった。

踏み込み時の下肢の入射角度は、走り幅跳びが $59.18 \pm 1.22\text{deg}$ 、三段跳びが $63.12 \pm 1.90\text{deg}$ で、走り幅跳びの方が後傾している傾向が見られた。また、踏み込み時の膝関節角度は、走り幅跳びが $169.17 \pm 6.99\text{deg}$ 、三段跳びは $165.22 \pm 5.47\text{deg}$ で、三段跳びの方が屈曲している傾向が見られたが、接地中の膝関節角度最大屈曲においては走り幅跳びが $132.88 \pm 6.97\text{deg}$ 、三段跳びが $132.38 \pm 3.66\text{deg}$ で、差は見られなかった。跳躍角度は、走り幅跳びが $25.36 \pm 2.25\text{deg}$ 、三段跳びにおいて $19.67 \pm 0.66\text{deg}$ で、走り幅跳びの方が高く跳躍している傾向が見られた。なお、実験記

録は走り幅跳びが、 $5.99 \pm 0.01\text{m}$ 、三段跳びが、 $5.11 \pm 0.06\text{m}$ であった。

3-3. 走り幅跳びと三段跳びの比較（非競技経験者）

図6・7は非競技経験者の並進速度を平均し、接地前後0.052secで表したグラフである。また、表4は非競技経験者の走り幅跳びと三段跳びのグラフの平均値と標準偏差を数値化した表である。

Fig.22, 26から、踏み込み時の並進速度を比較すると、全てのマーカーにおいて同様の速度の増減が見られ、大きな差は見られなかった。また、非競技経験者の踏み込み時の平均並進速度は、走り幅跳びにおいて $8.569 \pm 0.258\text{m/s}$ 、三段跳びにおいて $7.847 \pm 0.370\text{m/s}$ で、走り幅跳びの方が大きい傾向が見られた。Fig.23, 27からは、踏み切り後の並進速度については、膝、外踝、踵、つま先のマーカーにおいて三段跳びの方が大きい傾向が見られたが、骨盤については差が見られなかつ

表 4 非競技経験者の運動学データ (平均値と標準偏差)

	Long Jump	Triple Jump
Final Horizontal		
Velocity	$8.569 \pm 0.258\text{m/s}$	$7.847 \pm 0.370\text{m/s}$
Take-off Horizontal		
Velocity	$7.606 \pm 0.170\text{m/s}$	$7.402 \pm 0.390\text{m/s}$
Percent		
Loss	$11.19 \pm 2.76\%$	$6.12 \pm 2.45\%$
Final Vertical		
Velocity	$0.007 \pm 0.211\text{m/s}$	$-0.064 \pm 0.081\text{m/s}$
Take-off Vertical		
Velocity	$2.438 \pm 0.143\text{m/s}$	$2.113 \pm 0.327\text{m/s}$
Approach		
Angle	$64.99 \pm 1.55\text{deg}$	$66.31 \pm 0.83\text{deg}$
Knee Angle		
When Contact	$161.58 \pm 1.18\text{deg}$	$160.25 \pm 2.80\text{deg}$
Knee Angle		
Full Flex	$130.24 \pm 8.56\text{deg}$	$125.86 \pm 5.56\text{deg}$
Contact		
Time	$0.12044 \pm 0.00832\text{s}$	$0.12356 \pm 0.00926\text{s}$
Take-off		
Angle	$20.20 \pm 2.12\text{deg}$	$17.69 \pm 2.35\text{deg}$
Distance		
Jumped	$5.96 \pm 0.13\text{m}$	$4.51 \pm 0.11\text{m}$

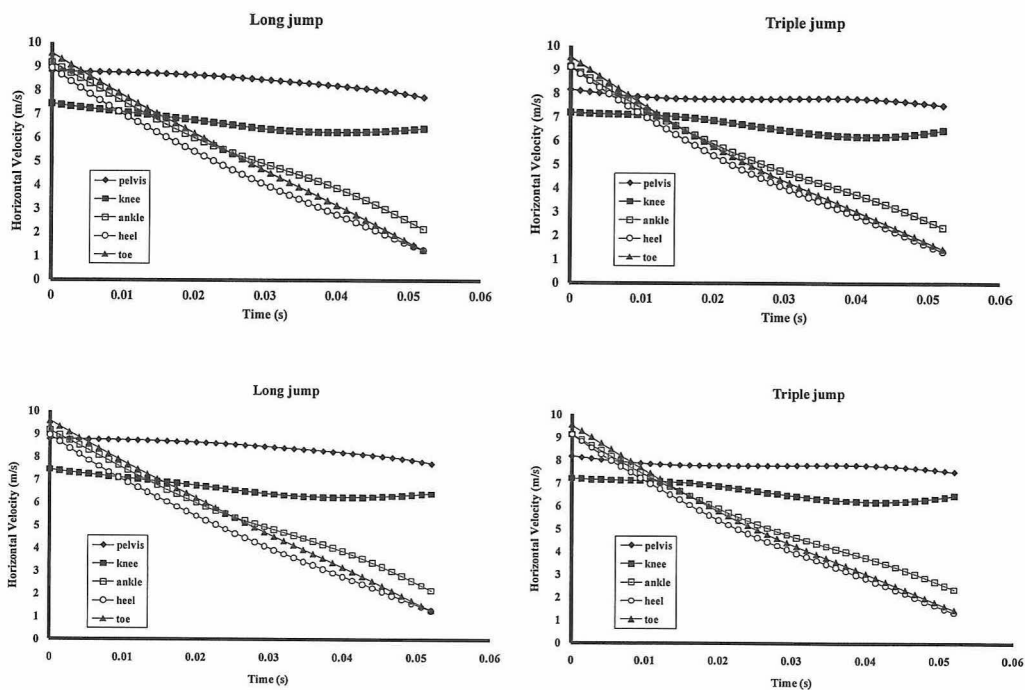


図 6 非競技経験者の踏み込み時の並進速度

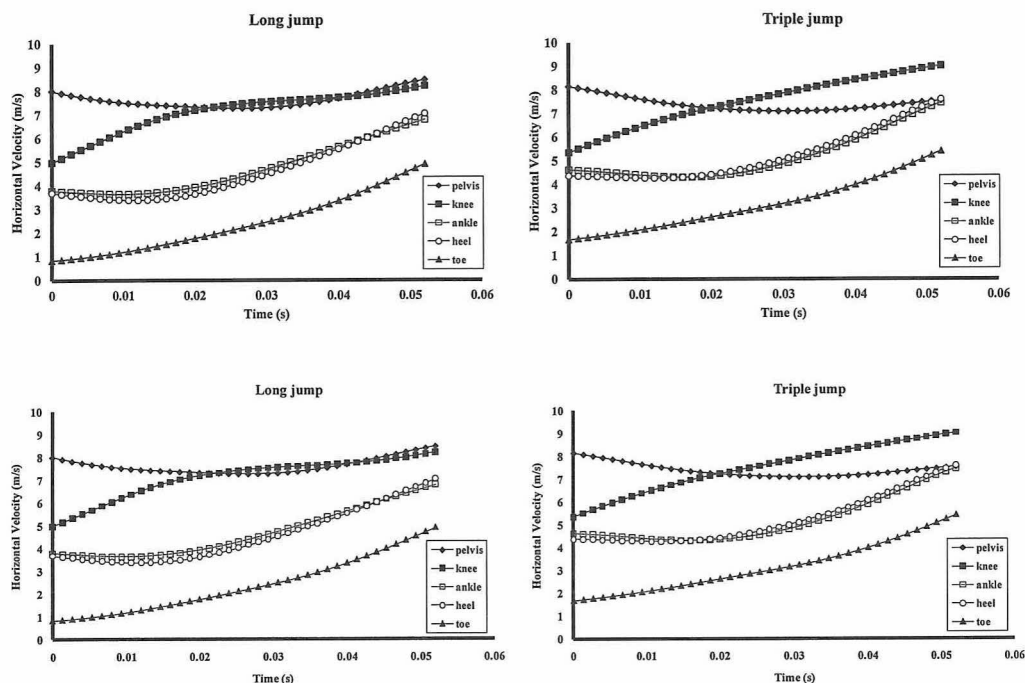


図7 非競技経験者の踏み切り後の並進速度

た。踏み切り後の平均並進速度は走り幅跳びが $7.606 \pm 0.170 \text{ m/s}$ 、三段跳びが $7.402 \pm 0.390 \text{ m/s}$ で、走り幅跳びの方が大きい傾向が見られた。この時の接地前後におけるブレーキロス率は走り幅跳びが $11.19 \pm 2.76\%$ 、三段跳びが $6.12 \pm 2.45\%$ で、走り幅跳びのブレーキロスの方が大きい傾向が見られた。

踏み込み時の下肢の入射角度は、走り幅跳びが $64.99 \pm 1.55 \text{ deg}$ 、三段跳びが $66.31 \pm 0.83 \text{ deg}$ で、走り幅跳びの方が後傾している傾向が見られた。また、踏み込み時の膝関節角度は、走り幅跳びが $161.58 \pm 1.18 \text{ deg}$ 、三段跳びは $160.25 \pm 2.80 \text{ deg}$ 、接地中の膝関節角度最大屈曲においては走り幅跳びが $130.24 \pm 8.56 \text{ deg}$ 、三段跳びが $125.86 \pm 5.56 \text{ deg}$ で、ともに三段跳びの方が屈曲している傾向が見られた。跳躍角度は、走り幅跳びが $20.20 \pm 2.12 \text{ deg}$ 、三段跳びにおいて $17.69 \pm 2.35 \text{ deg}$ で、走り幅跳びの方が高く跳躍している傾向が見られた。なお、実験記録は走り幅跳びが、

$5.96 \pm 0.13 \text{ m}$ 、三段跳びが、 $4.51 \pm 0.11 \text{ m}$ であった。

3-4. 走り幅跳びについて競技経験者と非競技経験者の比較

表5は競技経験者、非競技経験者による走り幅跳びの平均値と標準偏差を数値化した表である。図8から、踏み込み時の並進速度を比較すると、全てのマーカーにおいてほとんど差は見られなかったが、競技経験者の骨盤において大きな減少が見られた。踏み込み時の平均並進速度は、競技経験者が $8.316 \pm 0.480 \text{ m/s}$ 、非競技経験者が $8.569 \pm 0.258 \text{ m/s}$ で、非競技経験者の方が大きい傾向が見られた。図9から、踏み切り後の並進速度は、膝、外踝、踵、つま先において、差は見られなかったが、骨盤については非競技経験者の方が安定して大きな値が見られた。踏み切り後の平均並進速度は、競技経験者が $6.961 \pm 0.269 \text{ m/s}$ 、非競技経験者が 7.606 ± 0.170 で非競技経験者の方が

表5 走り幅跳びの競技経験者と非競技経験者の運動学データ
(平均値と標準偏差)

	Skilled	Unskilled
Final Horizontal		
Velocity	$8.316 \pm 0.480\text{m/s}$	$8.569 \pm 0.258\text{m/s}$
Take-off Horizontal		
Velocity	$6.961 \pm 0.269\text{m/s}$	$7.606 \pm 0.170\text{m/s}$
Percent		
Loss	$16.16 \pm 2.82\%$	$11.19 \pm 2.76\%$
Final Vertical		
Velocity	$-0.265 \pm 0.274\text{m/s}$	$0.007 \pm 0.211\text{m/s}$
Take-off Vertical		
Velocity	$2.934 \pm 0.358\text{m/s}$	$2.438 \pm 0.143\text{m/s}$
Approach		
Angle	$59.18 \pm 1.22\text{deg}$	$64.99 \pm 1.55\text{m/s}$
Knee Angle		
When Contact	$169.17 \pm 6.99\text{deg}$	$161.58 \pm 1.18\text{deg}$
Knee Angle		
Full Flex	$132.88 \pm 6.97\text{deg}$	$130.24 \pm 8.56\text{deg}$
Contact		
Time	$0.13067 \pm 0.00436\text{s}$	$0.12044 \pm 0.00832\text{s}$
Take-off		
Angle	$25.36 \pm 2.25\text{deg}$	$20.20 \pm 2.12\text{deg}$
Distance		
Jumped	$5.99 \pm 0.01\text{m}$	$5.96 \pm 0.13\text{m}$

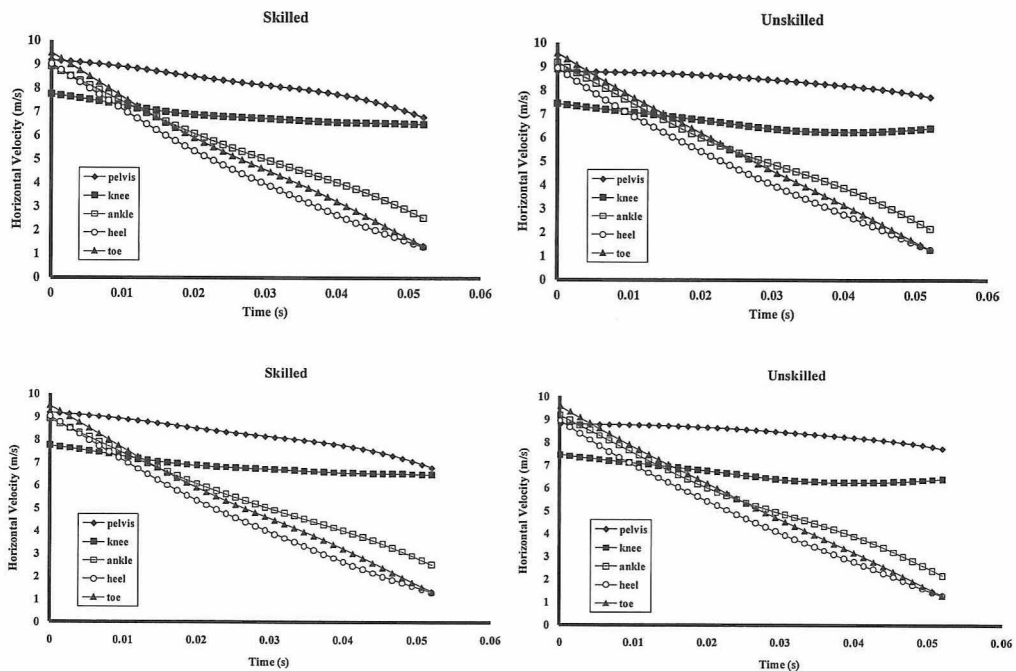


図8 走り幅跳びの踏み込み時の並進速度（競技経験者と非競技経験者）

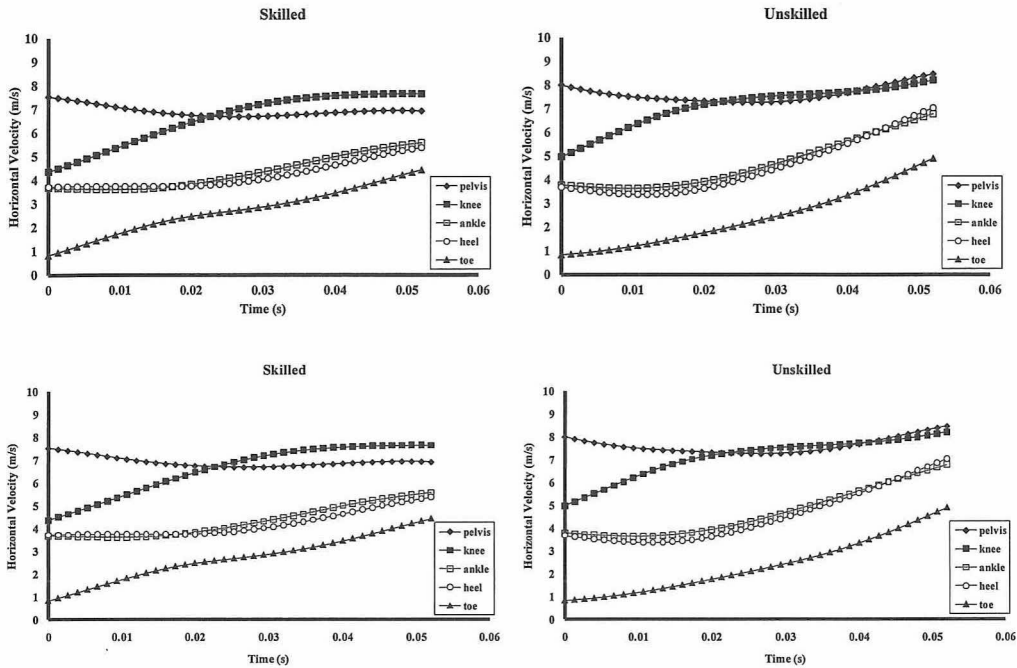


図9 走り幅跳びの踏み切り後の並進速度（競技経験者と非競技経験者）

大きい傾向が見られた。踏み切りによるプレーキロス、競技経験者が $16.16 \pm 2.82\%$ 、非競技経験者が $11.19 \pm 2.76\%$ で競技経験者の方が大きい傾向が見られた。

接地時間については、競技経験者が $0.13067 \pm 0.00436\text{sec}$ 、非競技経験者が $0.12044 \pm 0.00832\text{sec}$ で差が見られなかった。

踏み込み時の下肢の入射角度は、競技経験者が $59.18 \pm 1.22\text{deg}$ 、非競技経験者が $64.99 \pm 1.55\text{deg}$ で競技経験者の方が後傾している傾向が見られた。接地時の膝関節屈曲は競技経験者が 169.17 ± 6.99 、非競技経験者が $161.58 \pm 1.18\text{deg}$ で非競技経験者の方が屈曲している傾向が見られた。接地中の膝関節最大屈曲においては、競技経験者が $132.88 \pm 6.97\text{deg}$ 、非競技経験者が $130.24 \pm 8.56\text{deg}$ で非競技経験者の方が屈曲していたが、差は見られなかった。跳躍角度については、競技経験者が $25.36 \pm 2.25\text{deg}$ 、非競技経験者が $20.20 \pm 2.12\text{deg}$ で競技経験者の方が大きい値を示した。

なお、跳躍記録は競技経験者が 5.99 ± 0.01 、非競技経験者が 5.96 ± 0.13 で差はなかった。

3-5. 三段跳びについて競技経験者と非競技経験者の比較

表6は競技経験者、非競技経験者による三段跳びの平均値と標準偏差を数値化した表である。

図10から、踏み込み時の並進速度を比較すると膝、外踝、踵、つま先においては差が見られなかったが、骨盤においては競技経験者の方が減少している傾向が見られるが、差は見られなかった。踏み込み時の平均並進速度は、競技経験者が $8.203 \pm 0.557\text{m/s}$ 、非競技経験者が $7.847 \pm 0.370\text{m/s}$ で、競技経験者の方が大きい傾向が見られた。図11から、踏み切り後の並進速度は、骨盤、膝については差が見られなかったが、外踝、踵では、非競技経験者が、つま先では競技経験者が大きな上昇傾向が見られた。踏み切り後の平均並進速度は、競技経験者が $7.316 \pm 0.195\text{m/s}$ 、非競技

表6 三段跳びの競技経験者と非競技経験者の運動学データ
(平均値と標準偏差)

	Skilled	Unskilled
Final Horizontal		
Velocity	$8.203 \pm 0.557\text{m/s}$	$7.847 \pm 0.370\text{m/s}$
Take-off Horizontal		
Velocity	$7.316 \pm 0.195\text{m/s}$	$7.402 \pm 0.390\text{m/s}$
Percent		
Loss	$10.49 \pm 5.18\%$	$6.12 \pm 2.45\%$
Final Vertical		
Velocity	$-0.262 \pm 0.209\text{m/s}$	$-0.064 \pm 0.081\text{m/s}$
Take-off Vertical		
Velocity	$2.275 \pm 0.088\text{m/s}$	$2.113 \pm 0.327\text{m/s}$
Approach		
Angle	$63.12 \pm 1.90\text{deg}$	$66.31 \pm 0.83\text{deg}$
Knee Angle		
When Contact	$165.22 \pm 5.47\text{deg}$	$160.25 \pm 2.80\text{deg}$
Knee Angle		
Full Flex	$132.38 \pm 3.66\text{deg}$	$125.86 \pm 5.56\text{deg}$
Contact		
Time	$0.12666 \pm 0.00377\text{s}$	$0.12356 \pm 0.00926\text{s}$
Take-off		
Angle	$19.67 \pm 0.66\text{deg}$	$17.69 \pm 2.35\text{deg}$
Distance		
Jumped	$5.11 \pm 0.06\text{m}$	$4.51 \pm 0.11\text{m}$

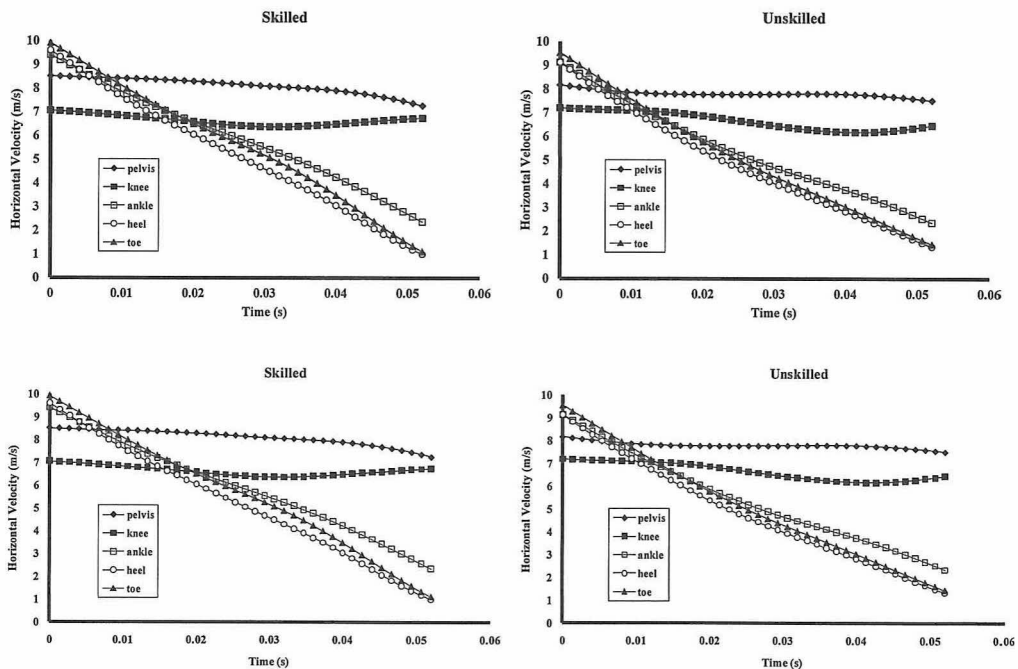


図10 三段跳びの踏み込み時の並進速度 (競技経験者と非競技経験者)

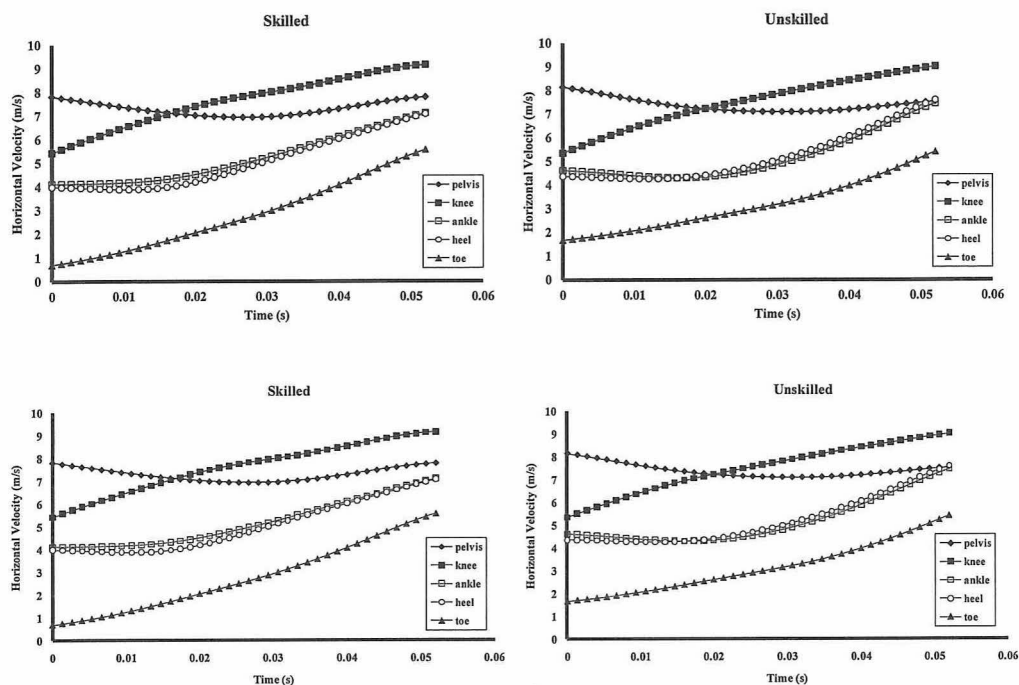


図11 三段跳びの踏み切り後の並進速度（競技経験者と非競技経験者）

経験者が 7.402 ± 0.390 で非競技経験者の方が大きい傾向が見られた。踏み切りによるブレーキクロスは、競技経験者が $10.49 \pm 5.18\%$ 、非競技経験者が $6.12 \pm 2.45\%$ で競技経験者の方が大きい傾向が見られた。

踏み込み時の下肢の入射角度は、競技経験者が $63.12 \pm 1.90\text{deg}$ 、非競技経験者が $66.31 \pm 0.83\text{deg}$ で競技経験者の方が後傾している傾向が見られた。接地時の膝関節屈曲は競技経験者が 165.22 ± 5.47 、非競技経験者が $160.25 \pm 2.80\text{deg}$ で非競技経験者の方が屈曲している傾向が見られた。接地中の膝関節最大屈曲においては、競技経験者が $132.38 \pm 3.66\text{deg}$ 、非競技経験者が $125.86 \pm 5.56\text{deg}$ で非競技経験者の方が屈曲している傾向が見られた。跳躍角度については、競技経験者が $19.67 \pm 0.66\text{deg}$ 、非競技経験者が $17.96 \pm 2.35\text{deg}$ で競技経験者の方が大きい値を示した。

跳躍記録は、競技経験者が 5.11 ± 0.06 、非競技経験者が 4.51 ± 0.11 だった。

4. 考察

4-1. 踏み切り前局面における速度比較と特徴

踏み込み時の平均並進速度は、走り幅跳びと三段跳びを比較すると走り幅跳びの方が大きい傾向が見られた（表2）。また、競技経験者群による比較、非競技経験者群による比較についても同様の傾向が見られた（表3, 4）。この結果は、世界の一流ジャンパーの走り幅跳びと三段跳びの助走では、走り幅跳びの方が三段跳びよりも高い速度を発揮しているという先行研究（Miller and Hey, 1986）の結果を支持するものである。また、これらの結果は、三段跳びにおいて意図的に助走速度を抑えていることを示唆するものである。助走速度が跳躍距離に影響する三段跳びにおいて助走速度を制限することは、三段跳びが、ホップ、ステップ、ジャンプの3つの連続した跳躍を行うことから、それぞれの踏み切りについてのブレーキクロス、次の踏み切りの準備動作を考慮し

た跳躍をしなければならないためであると推察される。

加えて、競技経験者群の結果では、走り幅跳びと三段跳びの速度差が 0.113m/s であったのに対し、非競技経験者群の速度差は 0.722m/s と大きく減少していた(表5, 6)。この結果から、両群とも意図的に速度制限を行っていると考えられ、非競技経験者においてはその傾向が大きく、三段跳びの踏み切り局面の複雑さ、三段跳びの踏み切り局面に要する踏み切り技術の不十分さが、助走速度を大きく制限している要因であると考えられる。

踏み込み時の鉛直速度は、走り幅跳びと三段跳びを比較しても差は見られなかった(表2)。また、競技経験者群による比較、非競技経験者群による比較についても同様の傾向が見られた(表3, 4)。この結果から、踏み込みにおいて走り幅跳びの方が三段跳びよりも素早く下肢の踏み込みを行っていると考えられる。つまり、走り幅跳びの方がより接地に積極的であると考えられる。また、踏み込み時の骨盤の鉛直速度においては、大きな差はなかったが、走り幅跳び、三段跳びとも競技経験者群の方が大きい傾向が見られた(表5, 6)。このことから、競技経験者群は踏み切り準備局面において沈み込み動作を行っていると考えられるが、非競技経験者群は沈み込み動作が不十分であると考えられる。金原ら(1976)は、「踏み込み角を大きくすることが、跳躍角を大きくすることよりも跳躍距離についてよい影響を与える」と報告している。このことから、踏み切り準備局面において沈み込み動作を行うことは、踏み込み角を大きくすることであり、跳躍距離を伸ばすために重要であると考えられる。

なお、今回の実験結果と世界の一流ジャンパー群の数値(Miller and Hay, 1986)を比較したところ、平均並進速度差は走り幅跳びにおいて

2.357m/s 低く、三段跳びにおいて 2.275m/s 低い値が見られた。また、走り幅跳びと三段跳びの平均並進速度差は被験者群が 0.417m/s であるのに対し、一流ジャンパーは 0.5m/s という数値が見られ、速度制限には差が見られなかった。これらの結果から被験者群の今後の課題は、スプリント能力の向上、高い助走速度中での踏み切り準備動作の技術の獲得であると考えられる。

4-2. 踏み切り局面における入射角度および膝関節角度の特徴

接地時の下肢の入射角度は、走り幅跳びと三段跳びを比較すると走り幅跳びの方が小さく、後傾している傾向が見られた(表2)。また、競技経験者群による比較、非競技経験者群による比較についても同様の傾向が見られた(表3, 4)。この結果に関連して、接地時の上体の角度において、 $88\sim 107$ 度の範囲では後傾している方が、跳躍距離が大きいと報告されている(Keller, 1974)。これらのことから、接地時に上体を後傾させるためには、入射角度を小さくし、下肢を後傾させなければならないと考えられる。つまり、跳躍距離を伸ばすためには、入射角度を小さくし、適度な下肢の後傾が必要であると考えられる。

接地時の膝関節角度は、走り幅跳びと三段跳びを比較すると三段跳びの方が屈曲している傾向が見られ(表2)、競技経験者群による比較、非競技経験者群による比較についても同様の傾向が見られた(表3, 4)。また、接地中の膝関節最大屈曲角度において、走り幅跳びと三段跳びの角度差は、競技経験者群が 0.5deg であったのに対し、非競技経験者群は 4.38deg であった(表5, 6)。しかしながら、両試技間・両群間には大きな差が見られず、両試技において膝関節角度が大きく、膝関節が伸びた状態で接地している傾向が

見られた。これらのことは、両試技において伸張・短縮サイクル (Stretch-Shortening Cycle: SSC) (Norman and Komi, 1979) における弾性エネルギーの再利用により、機械的効率や発揮パワーを高めるためであると考えられる。この伸張・短縮サイクル能力を高めるトレーニングとして、頻繁にプライオメトリックスが用いられている。このプライオメトリックスは、主要局面の開始前に筋を素早く伸張させることによって伸張反射を誘発し、Stiffnessを強化することができる (Hoffer and Andreassen, 1981) トレーニングである。Stiffnessは筋および腱の収縮にある種のばねであると仮定し、変位あたりの力(張力)の発揮を指標として用いられる。このStiffnessが高いほど、大きな外力に対して歪み(変位)が少なく、硬いばねであると考えられる。また、人の身体運動において硬いばねのように動く能力は、短時間に爆発的なパワーを発揮するための重要な要因である(図子と高松, 1996)と報告されている。さらに、膝関節について接地以前に予め屈曲させ、接地時に個人が最も大きな膝関節伸筋力を発揮できる膝関節角度の接地が重要であること(図子と高松, 1996)が報告されている。これらの結果から、踏み切りのように、短時間に爆発的なパワーを発揮するためには、膝関節の屈曲を最小限に抑えた上で、個人が膝関節伸展に伴うパワーを最大限に発揮できる角度での接地が重要であると推察される。

4-3. 踏み切り後局面における速度比較と特徴

踏み切り後の平均並進速度は、走り幅跳びと三段跳びを比較すると三段跳びの方が大きい傾向が見られ、踏み切り後の平均鉛直速度は、走り幅跳びと三段跳びを比較すると走り幅跳びの方が大きい傾向が見られた。また、両試技における踏み切り前の平均並進速度と比較すると、踏み切り後の

平均並進速度は減少しており、そのブレーキロスでは走り幅跳びの方が大きい傾向が見られた(表2)。これらの結果は、世界の一流ジャンパーの走り幅跳びと三段跳びの踏み切り後の並進速度において、三段跳びの方が走り幅跳びよりも大きく、踏み切り後の鉛直速度において、走り幅跳びの方が大きいということを示した先行研究 (Miller and Hey, 1986) の結果を支持するものである。したがってここから、走り幅跳びは高い走速度での助走を行い、踏み切りでブレーキをかけながら大きな鉛直速度を獲得しているのに対し、三段跳びの踏み切りは無理に鉛直速度を獲得することなく、また並進速度のブレーキロスも少ない踏み切りであると推察される。

加えて、跳躍角度は、走り幅跳びと三段跳びを比較すると走り幅跳びの方が大きい傾向が見られ、競技経験者群による比較、非競技経験者群による比較でも同様の傾向が見られた(表2, 3, 4)。これらの結果と上述の速度の結果から、走り幅跳びは鉛直方向への高い跳躍であり、三段跳びは並進方向への低い跳躍であると考えられる。このような結果が見られたのは、三段跳びが、ホップ、ステップ、ジャンプの3つの連続した跳躍での最高到達距離を競う種目であるために、それぞれの踏み切りにおけるブレーキロス、次の踏み切りの準備動作を考慮した跳躍をしているからであると推察される。

なお、今回の実験結果と世界の一流ジャンパー群の数値 (Miller and Hay, 1986) を比較したところ、被験者群の平均並進速度差は走り幅跳びにおいて1.917m/s低く、三段跳びにおいて2.541m/s低い値が見られた。また、平均鉛直速度差は走り幅跳びにおいて0.614m/s低く、三段跳びにおいて0.006m/sという数値が見られ、三段跳びにおいては差がない傾向が見られた。これらの結果から被験者群の走り幅跳びにおける課題は、踏

み切りによる並進速度の減少を最小限に抑え、より大きな鉛直速度を獲得する技術を身に付けることであると考えられる。また、三段跳びにおいては鉛直速度の差が見られないことから、並進速度のブレーキロスをも最小限にすることであると考えられる。

5. まとめ

- 1) 三段跳びにおいて意図的に助走速度を制限していることは、三段跳びが、ホップ、ステップ、ジャンプの3つの連続した跳躍を行うことから、それぞれの踏み切りにおけるブレーキロス、次の踏み切りの準備動作を考慮した跳躍をしなければならないためであると推察される。そのため、ただ単に助走速度が高ければよいのではなく、個人の踏み切り技術に適した助走速度でなければ、跳躍記録の向上は期待できないと考えられる。
- 2) 踏み込みにおいて、走り幅跳びの方が三段跳びよりも膝下の速度変化が大きい傾向が見られたことから、走り幅跳びの方が下肢の振り下ろしが速く、より積極的な踏み込みであると考えられる。
- 3) 踏み切りのように、短時間に爆発的なパワーを発揮するためには、膝関節の屈曲を最小限に抑えた上で、個人が膝関節伸展に伴うパワーを最大限に発揮できる角度での接地が重要であると考えられる。
- 4) 走り幅跳びは高い走速度での助走を行い、踏み切りでブレーキをかけながら大きな鉛直速度を獲得しているのに対し、三段跳びの踏み切りは無理に鉛直速度を獲得することなく、また並進速度のブレーキロスも少ない踏み切りであると推察される。
- 5) 跳躍角度から、走り幅跳びは鉛直方向への高い跳躍であり、三段跳びは並進方向への低い跳

躍である傾向が見られた。

- 6) 両試技において下肢の後傾が確認され、走り幅跳びの方が後傾している傾向が見られたことから、より大きな鉛直速度を獲得するためには、適度な下肢の後傾が必要であると考えられる。
- 7) 本研究の結果と一流ジャンパー群の数値を比較したところ、入射角度、膝関節角度、跳躍角度には、差が見られなかったが、踏み切り前並進速度、踏み切り後並進速度、踏み切り後鉛直速度において差が見られた。
- 8) 一般競技者のパフォーマンス向上のためには、走り幅跳びと三段跳びに共通して、スプリント能力の向上、高い助走速度中での踏み切り準備動作・踏み切り技術の獲得が重要であると考えられる。また、走り幅跳びにおいては、踏み切りによる並進速度の減少を最小限に抑え、より大きな鉛直速度を獲得する技術を身に付けることであると考えられる。三段跳びにおいては、鉛直速度の差が見られないことから、並進速度のブレーキロスを最小限に抑えることであると考えられる。

<参考文献>

- 1) 深代千之, 山際哲夫 (1990) 跳ぶ科学. 34-58 大修館書店
- 2) 阿江通良 (1996) トレーニングによる動作の変化. トレーニング科学ハンドブック (トレーニング科学研究会編). 384-393 朝倉書店
- 3) 深代千之ら (1994) 走幅跳のバイオメカニクス. 世界一流陸上競技者の技術, 169-184 ベースボール・マガジン社
- 4) Hay, J.G. (1995) : The case for a jump-dominated technique in the triple jump. *Track Coach*, 132, 4212-4219
- 5) Yu, B. and J.G. Hay (1995) : Angular momentum and performance in the triple jump : A Cross-Sectional Analysis. *J. Appl. Biomech.* 11, 81-102
- 6) 池上康男 (1983) : 写真撮影による運動の三次元的解析法. *Jpn. J. Sports Sci.*, 2 : 163-170
- 7) 大石三四郎, 浅田隆夫, 村木征人, 室伏重信, 加藤昭 (1982) 現代スポーツコーチ実践講座 2 陸上競技

- (フィールド). 220-378 ぎょうせい
- 8) 阿江通良, 藤井範久 (2002) スポーツバイオメカニクス20講. 朝倉書店
 - 9) 深代千之, 桜井伸二, 平野裕一, 阿江通良 (2000) スポーツバイオメカニクス. 25-27 朝倉書店
 - 10) 池田裕介, 淵本隆文 (2005) ダブルレッグホップのトレーニングにともなう下肢関節のモーメントとパワーの変化. 体育学研究, 50: 1-11
 - 11) 木越清信, 岩井浩一, 島田一志, 尾縣貢 (2004) ドロップジャンプにおける姿勢が下肢関節 Kinetics およびジャンプパフォーマンスに及ぼす影響. 体育学研究, 49: 435-445
 - 12) 尹聖鎮, 田内健二, 高松薫 (2003) 傾斜面でのリバウンドジャンプにおける腓腹筋-アキレス腱複合体の神経筋活動: 跳躍トレーニング経験の相違に着目して. 体育学研究, 48: 15-25
 - 13) 岩竹淳, 鈴木朋美, 中村夏実, 小田宏行, 永澤健, 岩壁達男 (2002) 陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 47: 253-261
 - 14) Manfred Grosse, August Neumaier 著, 朝岡正雄訳 (1995) 選手とコーチのためのスポーツ技術のトレーニング. 大修館書店
 - 15) 金子公宥 (1982) 改訂 スポーツバイオメカニクス入門. 杏林書店
 - 16) 松浦義行 (1985) 体育・スポーツ科学のための統計学. 朝倉書店
 - 17) 青山清英, 小木曾一之, 安井年文, 青山亜紀, 重城哲, 澤野大地 (2005) 走幅跳の踏切準備動作における身体各部の使い方に関するバイオメカニクス的研究. 陸上競技研究, 63: 28-35
 - 18) Claire T. Farley, Reinhard Blickhan, Jacqueline Saito, and C. Richard Taylor. (1991) Hopping frequency in humans: a test of how springs set stride frequency in bouncing gaits. Journal applied physiology, 71: (6), 2172-2132
 - 19) James G. Hay and John A. Miller, Jr. (1985) Techniques Used in the Transition From Approach to Takeoff in the Long Jump. International Journal of Sports Biomechanics, 1: 174-184
 - 20) 洪川侃二 (1969) 現代保健体育学体系6 運動力学. 大修館書店
 - 21) 金原勇ら (1976) 現代スポーツコーチ全集 陸上競技のコーチング(II) フィールド編. 129-268 大修館書店
 - 22) 岡岡康雄 (1991) 基本を学ぶために⑤ 陸上競技入門. 105-118 ベースボール・マガジン社
 - 23) 岡岡康雄 (1980) スポーツ新シリーズ4 陸上競技跳躍. 64-86 不昧堂出版
 - 24) Miller, J. A. and J. G. Hay (1986): Kinematics of a world record and other world-class performances in the triple jump. International Journal of Sports Biomechanics, 2: 272-286.
 - 25) Keller, R. (1974): Weitsprung analyse (Long jump analysis). Diplomarbeit am Laboratorium für Biomechanik der ETH, Zurich. (in Kunz).
 - 26) Hoffer, J. A. and Andreassen, S. (1981): Regulation of soleus stiffness in pre-mammillary cats: intrinsic and reflex components. J. Neurophysiol. 15: 267-285.
 - 27) 関子浩二・高松薫 (1996) “ばね”を高めるためのトレーニング理論. トレーニング科学 8: 7-16.
 - 28) Norman, R.W. and Komi, P.V. (1979): Electromechanical delay in skeletal muscle under normal movement conditions. Acta Physiol. Scand. 106: 241-248.
 - 29) 関子浩二・高松薫 (1996) リバウンドドロップジャンプにおける着地動作の違いが踏切中のパワーに及ぼす影響-膝関節に着目して-. 体力科学, 45: 209-218.
 - 30) Winter, D.A. (1990). "Biomechanics and motor control of human movement. 2nd ed, 41-43, John Wiley & Sons, New York