

高校生トップ男子走幅跳選手のパフォーマンス変化と踏切動作の特徴

柴田篤志¹⁾ 小山宏之²⁾ 清水悠³⁾

1) 京都教育大学大学院 2) 京都教育大学 3) 島根大学

I. はじめに

これまでの走幅跳における報告では、世界一流選手および日本一流選手を対象として、助走スピード分析（小山ら，2011 など）や踏切局面および踏切準備局面における動作に関するキネマティクスの分析（飯干ら，2005 など）をはじめとして数多く行われている。一方で、ジュニア期にあたる高校生選手を対象とした報告は少なく、パフォーマンスの変化が著しいジュニア期における競技者の特徴についての十分なデータはないと考えられる。また、パフォーマンスの向上にともなう動作の変化を縦断的に検討した報告も少ない。

そこで本報告では、2014年高校総体で上位入賞を果たした2選手の2013年シーズンから2014年シーズンにかけての踏切局面における動作の変化をキネマティクスの分析し、パフォーマンス向上の要因を事例的に検討する。

II. 方法

1. 分析対象者

対象者は2014年高校総体において上位入賞を果たした佐久間選手（PB:7m80）、外川選手（PB:7m58）の2名とした。

2. 分析試技

対象者の2013年日本ユース選手権，2014年高校総体，2014年日本ジュニア選手権における試技を分析の対象とし，撮影した試技の中から各選手の2013年シーズン上位3試技をPre，2014年シーズンの上位3試技をPostとした（表1）。

3. 撮影およびデータ処理

2台のハイスピードカメラ（CASIO社製，EX-F1）を用いて，助走路前方および後方から各競技

表1 分析試技一覧

	2013(Pre)			2014(Post)		
	佐久間	7m49(+0.0) 日本ユース	7m40(+0.4) 日本ユース	7m35(+0.1) 日本ユース	7m80(+2.0) 高校総体	7m68(+0.4) 日本ジュニア
外川	7m37(-0.3) 日本ユース	7m25(+2.4) 日本ユース	7m20(+0.0) 日本ユース	7m60(+2.8) 高校総体	7m58(+2.6) 高校総体	7m43(+1.9) 高校総体

会，各選手の全試技を踏切2歩前から踏切離地まで300fpsで固定撮影した。

撮影したVTR映像から踏切2歩前離地の10コマ前から踏切離地後10コマまでの身体分析点23点をビデオ動作分析システム（DKH社製，Frame-DIAS IV）によりデジタル化した。そして，2台のカメラの身体分析点とコントロールポイントの座標から，3次元DLT法を用いて身体分析点23点の3次元座標を算出した。

身体分析点の3次元座標は，Wells and Winter（1980）の方法を用いて分析点毎に最適遮断周波数を決定し，Butterworth low-pass digital filterを用いて平滑化した。

4. 算出項目

以下に示す項目を算出した。図1は角度定義を示している。

- (1) 重心水平速度，鉛直速度
- (2) 踏切脚膝角度および角速度
（伸展を正，屈曲を負とする）
- (3) 踏切脚および遊脚大腿角度，角速度
（前傾を負，後傾を正とする）
- (4) 体幹の前後傾角度：肩の midpoint と大転子の midpoint を結んだ線分が鉛直線となす角度
（前傾を負，後傾を正とする）

5. 局面定義

踏切脚膝関節の最大屈曲時(MKF)を踏切中間とし，踏切接地(T-on)からMKFを踏切前半，MKFから踏切離地(T-off)を踏切後半として各局面を50%としてT-onからT-offが100%となるように規格化し

た。

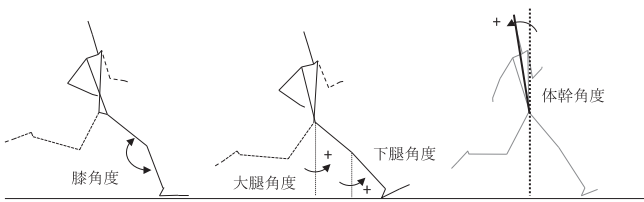


図1 角度定義

Ⅲ. 結果および考察

1. 事例1 (佐久間選手)

1.1 重心速度

表2は佐久間選手の踏切局面における重心速度に関するパラメータを示している。T-onにおける水平速度の平均値はPostでやや増加している傾向がみられたが、T-offにおける水平速度の平均値に差はみられなかった。一方で、Postにおける鉛直速度の平均値はMKFおよびT-offで増加がみられ、踏切後半の鉛直速度増加量に差がないことから、Postでは踏切前半でより大きな鉛直速度を獲得することができていたといえる。さらにPostではより大きな鉛直速度を獲得するために踏切における減速がやや大きくなっていった。このことから佐久間選手のPostにおけるパフォーマンスの向上は踏切でより大きな鉛直速度を獲得することができたことによるものであると考えられる。

1.2 踏切動作

表3は佐久間選手の踏切局面における踏切脚の膝

角度および角速度、体幹角度に関するパラメータを示している。踏切脚の各時点における膝角度にはPre, Postの平均値に差は少なく、踏切中の屈曲量や伸展量にも差は少なかった。さらに、膝の各時点における角速度の平均値や屈曲、伸展速度のピーク値の平均値にも大きな差はみられなかった。つまり、踏切脚の姿勢はPre, Post間で大きな変化はみられず、パフォーマンスの向上との関係性は少ないと考えられる。また、体幹角度の平均値はT-onにおいてPostでより後傾した姿勢であったが、T-offではPostがより垂直に近い姿勢であり、踏切中における体幹角度の変位がPostでより大きくなっていったといえる。

表4は佐久間選手の踏切局面における大腿角度および角速度に関するパラメータを示している。踏切脚の大腿角度は踏切の各時点においてPre, Postの平均値に差はみられなかった。一方で、遊脚の大腿角度はMKF, T-offにおいてPostの平均値が大きく、T-onにおける遊脚の姿勢はPre, Postで類似していたものの、MKF, T-offでは遊脚がより前方に位置していたといえ、踏切前半における遊脚大腿の変位が大きかったことよって、遊脚をより引き上げた姿勢で離地していたことが明らかとなった。さらに、遊脚大腿角速度はT-on, MKFにおける角速度の平均値および踏切中のピーク値の平均値がPostにおいて大きく、遊脚の大腿をより速い速度で前方に振り込んでいたことが明らかとなった。また、図2はPreおよびPostの踏切中の遊脚大腿角速度の平均値を時系列で示したものである。遊脚大腿角速度のピーク値の出現地点はPreにおいて約50%地点、

表2 重心速度に関するパラメータ (佐久間)

記録 (m)	T-on		MKF			T-off		踏切における 水平速度の減速 (m/s)	踏切後半の 鉛直速度増加量 (m/s)	跳躍角度 (deg)
	水平速度 (m/s)	水平速度 (m/s)	鉛直速度 (m/s)	鉛直速度獲得比 (%)	水平速度 (m/s)	鉛直速度 (m/s)				
2013(Pre)	7.49	9.74	8.73	1.94	63.7	8.31	3.21	-1.43	1.28	21.2
	7.40	9.63	7.94	2.11	60.6	8.12	3.68	-1.51	1.57	24.4
	7.35	9.32	8.48	1.68	56.1	8.52	3.13	-0.80	1.45	20.2
2014(Post)	7.80	9.64	8.78	1.75	51.9	8.41	3.55	-1.23	1.79	22.9
	7.68	9.93	8.48	2.54	75.9	8.47	3.49	-1.45	0.95	22.4
	7.59	9.62	8.71	1.99	58.9	8.28	3.53	-1.35	1.54	23.1
Pre平均±SD	7.41±0.06	9.56±0.18	8.38±0.33	1.91±0.18	60.1±3.1	8.32±0.17	3.34±0.24	-1.25±0.32	1.43±0.12	21.9±1.8
Post平均±SD	7.69±0.09	9.73±0.14	8.66±0.13	2.09±0.33	62.2±10.1	8.38±0.08	3.52±0.03	-1.34±0.09	1.43±0.35	22.8±0.3

表3 踏切脚の膝角度および角速度、体幹角度に関するパラメータ (佐久間)

記録 (m)	踏切脚膝角度						踏切脚膝角速度		体幹角度		
	T-on	MKF	T-off	屈曲量	伸展量	最大屈曲速度	最大伸展速度	T-on	MKF	T-off	
(m)			(deg)			(deg/s)	(deg/s)	(deg)	(deg)	(deg)	
2013(Pre)	7.49	160.9	149.0	163.2	11.9	14.3	-291.1	294.4	9.9	9.5	11.6
	7.40	166.1	150.5	161.5	15.6	11.0	-391.3	267.5	12.3	9.3	6.9
	7.35	157.1	146.2	154.8	10.9	8.6	-356.2	246.0	9.3	7.7	9.3
2014(Post)	7.80	166.7	153.0	165.2	13.7	12.2	-421.9	280.1	11.0	9.1	7.4
	7.68	165.6	147.9	156.7	17.7	8.8	-354.4	215.0	13.6	6.6	7.1
	7.59	167.0	158.7	171.7	8.3	13.0	-244.1	281.3	14.7	10.4	7.7
Pre平均±SD	7.41±0.06	161.4±3.7	148.6±1.8	159.8±3.6	12.8±2.0	11.3±2.3	-346.2±41.5	269.3±19.8	10.5±1.3	8.9±0.8	9.3±1.9
Post平均±SD	7.69±0.09	166.4±0.6	153.2±4.4	164.5±6.1	13.2±3.9	11.3±1.8	-340.1±73.3	258.8±31.0	13.1±1.5	8.7±1.6	7.4±0.2

表4 大腿角度および角速度に関するパラメータ (佐久間)

記録 (m)	踏切脚大腿角度			踏切脚大腿角速度			遊脚大腿角度			遊脚大腿角速度				
	T-on	MKF (deg)	T-off	T-on	MKF (deg/s)	T-off	T-on	MKF (deg)	T-off	T-on	Max (deg/s)	MKF	T-off	
2013(Pre)	7.49	41.8	16.3	-22.1	-302.6	-651.6	-302.1	-18.8	19.2	71.1	531.3	807.3	807.3	372.5
	7.40	36.3	11.9	-18.3	-377.7	-518.6	-245.0	-9.3	31.8	73.9	511.1	965.9	965.9	137.2
	7.35	32.7	15.0	-18.7	-359.6	-535.1	-190.5	-2.1	32.8	78.2	802.3	884.9	861.6	49.7
2014(Post)	7.80	33.2	18.5	-20.1	-262.9	-528.5	-271.8	-4.6	36.1	85.8	868.8	1062.5	1045.7	163.8
	7.68	42.4	14.5	-10.5	-273.4	-464.1	-277.9	-17.7	41.6	79.9	500.1	1054.4	1046.1	118.9
	7.59	36.1	17.2	-18.1	-269.9	-548.9	-253.8	-10.5	32.1	81.6	749.7	970.1	963.8	229.8
Pre平均±SD	7.41±0.06	36.9±3.8	14.4±1.9	-19.7±1.7	-346.6±32.0	-568.4±59.2	-245.9±45.6	-10.1±6.8	27.9±6.2	74.4±2.9	614.9±132.8	886.0±64.8	878.3±65.8	186.4±136.3
Post平均±SD	7.69±0.09	37.2±3.8	16.7±1.7	-16.3±4.1	-268.7±4.4	-513.8±36.1	-267.8±10.2	-10.9±5.4	36.6±3.9	82.4±2.5	706.2±153.6	1029.0±41.8	1018.5±38.7	170.8±45.5

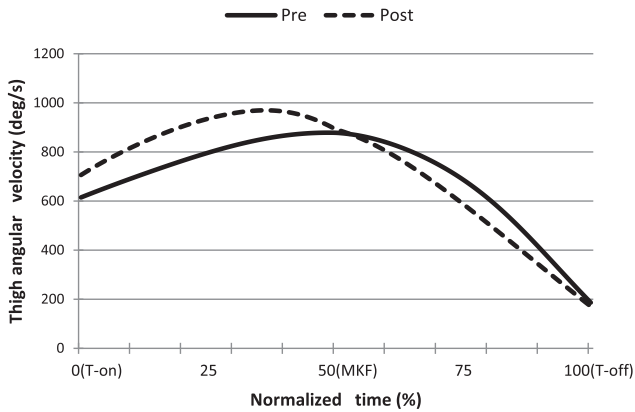


図2 遊脚大腿角速度 (佐久間)

Postでは約40%地点であり、ピーク値の出現地点がPostではより踏切前半に近くなっていたことが明らかとなった。

このように、PreおよびPostにおける踏切動作を比較すると、踏切脚の動作には大きな変化がみられなかった。一方で、リード脚とよばれる遊脚大腿の動作には変化が見られ、T-onからMKFまでの踏切前半局面における大腿角速度の平均値がPostで増加しており、遊脚をより素早く前方へ振り込むことができるようになっていた。さらに、踏切前半における鉛直速度の獲得がPostで大きくなっていたことから、遊脚をより速い速度で前方へ振り込むことが踏切前半における鉛直速度獲得に関係する動作であった可能性が示唆され、遊脚動作の変化がパフォーマンス向上の要因の1つであったといえる。

2. 事例2 (外川選手)

2.1 重心速度

表5は外川選手の踏切局面における重心速度に関

表5 重心速度に関するパラメータ (外川)

記録 (m)	T-on		MKF			T-off		踏切における 水平速度の減速 (m/s)	踏切後半の 鉛直速度増加量 (m/s)	跳躍角度 (deg)
	水平速度 (m/s)	水平速度 (m/s)	鉛直速度 (m/s)	鉛直速度獲得比 (%)	水平速度 (m/s)	鉛直速度 (m/s)				
2013(Pre)	7.37	9.71	8.54	2.17	65.4	8.47	3.23	-1.23	1.06	20.9
	7.25	9.65	8.55	2.18	68.3	8.51	3.13	-1.14	0.95	20.2
	7.20	9.71	8.60	2.32	74.3	8.41	3.06	-1.30	0.74	20.0
2014(Post)	7.60	9.95	8.77	2.18	65.9	8.71	3.30	-1.23	1.12	20.7
	7.58	9.99	9.00	1.91	58.5	8.69	3.36	-1.30	1.40	21.2
	7.43	10.02	8.74	2.24	69.5	8.74	3.27	-1.27	1.04	20.5
Pre平均±SD	7.27±0.07	9.69±0.03	8.56±0.02	2.22±0.07	69.3±3.7	8.46±0.04	3.14±0.07	-1.23±0.07	0.92±0.13	20.4±0.4
Post平均±SD	7.54±0.08	9.98±0.03	8.83±0.12	2.13±0.12	64.6±4.6	8.72±0.02	3.31±0.04	-1.27±0.03	1.19±0.16	20.8±0.3

するパラメータを示したものである。踏切中の各時点における水平速度の平均値はPostで増加しており、T-onにおける水平速度が増加したものの、踏切における水平速度の減速はPre, Postの平均値に大きな差はなく、Postではより大きな水平速度を助走で獲得し、速度を維持したまま踏切動作を行っていたことが明らかとなった。また、鉛直速度はMKFにおいてPreの平均値が大きかったが、T-offにおける鉛直速度はPostの平均値が大きく、PostではPreで非常に少なかった踏切後半における鉛直速度の獲得量を増やすことができていたといえる。このことから、外川選手のパフォーマンス向上は水平速度の向上によるものが大きく、それに加えて水平速度が増加したにも関わらず、踏切における水平速度の減速を最小限に抑え、より大きな鉛直速度を獲得することができたことによるものであると考えられる。

2.2 踏切動作

表6は外川選手の踏切局面における膝角度および角速度、体幹角度に関するパラメータを示したものである。踏切脚の各時点における膝角度の平均値はT-onおよびMKFにおいてPre, Postの間に大きな差はみられなかったが、T-offにおいてはPostの値がより大きく、伸展位であった。また、踏切中の屈曲量はPre, Postの平均値に差は少なかったものの、伸展量では平均値に大きな差がみられ、さらに踏切脚膝角速度のピーク値(最大伸展速度)もPostの平均値が大きく、膝をより速く伸展させることで、踏切後半で膝関節を大きく伸展させてT-offに向かっていたことが明らかとなった。体幹

表 6 踏切脚の膝角度および角速度，体幹角度に関するパラメータ（外川）

記録 (m)	踏切脚膝角度					踏切脚膝角速度			体幹角度		
	T-on	MKF	T-off (deg)	屈曲量	伸展量	最大屈曲速度	最大伸展速度	T-on	MKF (deg)	T-off	
2013(Pre)	7.37	157.0	143.9	150.7	13.1	6.8	-393.3	237.4	5.2	-0.8	1.4
	7.25	163.4	147.9	161.5	15.5	13.5	-417.4	348.5	7.1	2.2	2.8
	7.20	166.0	150.1	156.8	15.9	6.7	-395.8	221.9	8.6	4.8	7.8
2014(Post)	7.60	157.9	140.5	175.0	17.4	34.5	-467.4	785.7	8.4	1.4	0.2
	7.58	159.4	152.4	173.1	7.0	20.7	-209.5	469.6	6.9	2.4	1.6
	7.43	161.5	145.9	169.4	15.5	23.5	-398.9	528.0	8.1	0.1	-0.6
Pre平均±SD	7.27±0.07	162.1±3.8	147.3±2.6	156.3±4.4	14.8±1.2	9.0±3.2	-402.2±10.8	269.3±56.4	7.0±1.4	2.1±2.3	4.0±2.8
Post平均±SD	7.54±0.08	159.6±1.5	146.3±4.9	172.5±2.3	13.3±4.5	26.2±6.0	-358.6±109.1	594.4±137.3	7.8±0.6	1.3±1.0	0.4±0.9

表 7 大腿角度および角速度に関するパラメータ（外川）

記録 (m)	踏切脚大腿角度			踏切脚大腿角速度			遊脚大腿角度			遊脚大腿角速度				
	T-on	MKF (deg)	T-off	T-on	MKF (deg/s)	T-off	T-on	MKF (deg)	T-off	T-on	Max (deg/s)	MKF	T-off	
2013(Pre)	7.37	36.2	13.7	-14.2	-396.9	-566.2	-273.7	-2.9	38.3	76.0	651.1	1045.3	1045.3	102.2
	7.25	33.2	12.6	-20.1	-358.5	-567.3	-325.8	-2.5	35.8	73.5	573.4	977.7	977.7	145.7
	7.20	31.7	7.8	-19.4	-397.0	-525.8	-252.8	-4.5	42.8	76.1	660.6	997.1	967.5	102.4
2014(Post)	7.60	46.0	23.9	-26.7	-318.7	-660.4	-630.1	-12.3	36.7	78.8	684.2	1100.6	1100.6	91.8
	7.58	41.5	23.0	-24.8	-375.7	-586.2	-417.1	-14.5	26.3	80.2	898.6	1044.2	1035.3	189.1
	7.43	40.0	17.6	-18.5	-293.2	-582.7	-434.3	-9.7	45.2	77.0	964.5	1086.3	862.4	148.7
Pre平均±SD	7.27±0.07	33.7±1.9	11.4±2.6	-17.9±2.6	-384.1±18.1	-553.1±19.3	-284.1±30.7	-3.3±0.9	39.0±2.9	75.2±1.2	628.4±39.1	1006.7±28.4	996.8±34.5	116.8±20.5
Post平均±SD	7.54±0.08	42.5±2.6	21.5±2.8	-23.4±3.5	-329.2±24.5	-609.8±35.8	-493.8±96.6	-12.2±2.0	36.1±7.7	78.7±1.3	849.1±119.7	1077.0±23.9	999.4±100.5	143.2±39.9

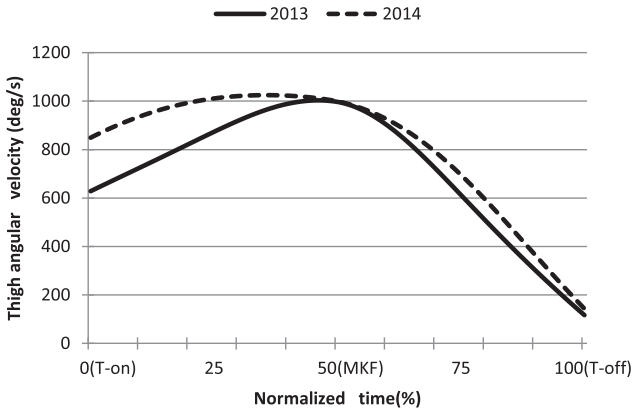


図 3 遊脚大腿角速度（外川）

角度の平均値は Pre, Post で大きな差はみられなかったが, Pre では MKF から T-off にかけて, 体幹をやや後傾させるような動作を行っていたのに対して, Post では MKF から T-off にかけても体幹を前傾させるような動作を行っていたといえる。

表 7 は外川選手の踏切局面における大腿角度および角速度に関するパラメータを示したものである。踏切脚の大腿角度は T-on および MKF において Post の平均値が大きく, 踏切脚の大腿をより前方に振り出して接地しており, T-off では Post の平均値がやや負に大きく, 離地時には大腿がより後方に位置していたことが明らかとなった。さらに, 踏切脚大腿の角速度も MKF および T-off の踏切後半の各時点で Post の平均値が大きく, 踏切後半において踏切脚の大腿をより速く後方へ蹴るような動作を行っていたと考えられる。一方で, 遊脚の大腿角度は T-on において Post の平均値が負に大きく, 接地時には遊脚の大腿がより後方に位置しており, Post

では遊脚の振り込み動作がやや遅れていたと考えられる。しかし, MKF および T-off において遊脚の大腿角度の平均値に大きな差はみられず, 踏切後半の遊脚の動作は類似していたといえる。遊脚大腿角速度は Post の T-on における角速度の平均値およびピーク値の平均値が大きかったが, MKF, T-off における平均値には差がみられなかった。このことから, Post では踏切前半において, 遊脚の大腿をより速い速度で前方へ振り込んでいた一方で, 踏切後半の動作には大きな変化がなかったと考えられる。また, 図 3 は Pre および Post の踏切中の遊脚大腿角速度の平均値を時系列で示したものである。遊脚大腿角速度のピーク値の出現地点は Pre において約 50% 地点, Post では約 35% 地点であり, ピーク値の出現地点が Post ではより踏切前半に近くっており, さらに踏切前半で大きな速度を維持できていたことが明らかとなった。

このように, Pre および Post における踏切動作を比較すると, 踏切脚では踏切後半における膝関節の動作が変化し, 踏切後半で膝をより伸展させ, 踏切で地面をしっかりと蹴りきるような動作を Post では行っていたことが明らかとなった。さらに, リード脚とよばれる遊脚大腿の動作にも変化がみられ, T-on における姿勢としては Post においてリード脚が後方に位置していたものの, T-on から MKF までの踏切前半局面における大腿角速度の平均が Post で増加しており, 遊脚をより素早く前方へ振り込むことができていた。また, 踏切後半における鉛直速度の獲得が Post で大きくなっていったこと, 水平速度が増加したにも関わらず踏切における減速に大き

な差がみられなかったことから、踏切脚の伸展動作が、踏切後半における鉛直速度の獲得に関する動作であり、遊脚の前方への素早い振り込み動作は水平速度の減速を抑制するものであった可能性が示唆され、このような動作の変化がパフォーマンス向上の要因の1つであったといえる。

IV. まとめ

走幅跳のパフォーマンスの大部分は踏切離地時における重心速度によって決定されるため、佐久間選手、外川選手ともに重心速度に関するパラメータに変化がみられた。佐久間選手は水平速度の変化は少なかったが、踏切で獲得する鉛直速度が増加したことでパフォーマンスを向上させていた。外川選手は助走の速度が向上したことにより、踏切離地時の水平速度が増加し、さらに踏切で獲得する鉛直速度も増加したことで、パフォーマンスを向上させていた。本報告からも踏切離地時の重心速度を増加させることがパフォーマンスの変化に大きく関わっていることが改めて明らかとなり、ジュニア期の高校生走幅跳競技者が大きくパフォーマンスを向上させる大きな要因であると考えられる。また、踏切局面における動作では両対象者に共通してリード脚とよばれる遊脚大腿の動作に変化がみられ、遊脚をより速く振り込む動作が踏切前半における鉛直速度の獲得や、踏切での水平速度の減速を抑制する要因になっており、パフォーマンスの向上に関する動作である可能性も示唆された。

参考文献

小山宏之, 村木有也, 柴山一仁, 清水悠, 築野愛, 荊山靖, 阿江通良 (2011) 競技会における一流男女走幅跳および三段跳選手の助走スピード分析. 日本陸連科学委員会研究報告, 6, 33-49.

飯干明, 大村一光, 小山宏之, 村木有也, 阿江通良 (2005) 日本一流走幅跳選手の踏切準備と踏切動作のバイオメカニクスの分析. 日本陸連科学委員会研究報告, 1, 137-146.

Wells, R. P., D. A. Winter (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics normal, pathological and sporting gaits. Human Locomotion, I, 92-93.