

雪上路面と通常路面における陸上競技長距離選手の ランニング時の生理学的特性と運動学的特性の比較

佐藤 由理^{1,2}, 瀧澤 一騎³, 中島 康博⁴, 日下 聖⁵
水野 眞佐夫⁶

Comparison of the physiological and kinematical characteristics of running on a snowy road surface and a normal road surface in long-distance runners

Yuri Sato^{1,2}, Kazuki Takizawa³, Yasuhiro Nakajima⁴, Hijiri Kusaka⁵, Masao Mizuno⁶

Abstract

The purpose of this study is to compare the physical and kinematic characteristics of running on a snowy road surface and a normal road surface. Seven college long-distance runners participated in this study. This study consisted of two experiments : Experiment 1 measured gas exchange and running velocity during 2.2 km running with 70% HRR, and Experiment 2 measured running kinematics and electromyogram activity during high passed jogging (elector spines, rectus abdominis, gluteus maximus, rectus femoris, biceps femoris, tibialis anterior, gastrocnemius, and soleus). In Experiment 1, gas exchange kinetics, including $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$, and respiratory exchange ratio, did not differ between running on a snowy road surface and on a normal road surface. However, running velocity was significantly slower on a snowy road surface than on a normal road surface ($p < 0.01$). In Experiment 2, lower electromyogram activities were observed for running on a snowy road surface at some points (elector spines at right leg stance phase, biceps femoris at right leg forward swing phase, and rectus abdominis at right leg stance phase and right leg forward swing phase ; all $p < 0.05$). Running kinematics, which includes ground contact time, flight time, stride length, and stride frequency, did not differ between running on a snowy road surface and on a normal road surface. These results suggest that running economy does not differ for running on a snowy road surface than on a normal road surface. But muscle activities for running at a higher velocity were insufficient when running on a snowy road surface than on a normal road surface. Therefore, we conclude that running on a snowy road surface may be good training for maximal oxygen consumption, but it may not be good training for developing muscle strength and power for long-distance running.

Key words : snow road surface, running, heavy snowfall region

1. 三重大学教育学部
2. 北海道大学大学院教育学院
3. アスリート・ラボ
4. 北海道立総合研究機構
5. 北海道大学大学院情報科学研究科
6. 北海道大学大学院教育学研究科

1. Undergraduate School of Education, Mie University
2. Graduate School of Education, Hokkaido University
3. Athletes' lab
4. Hokkaido Research Organization
5. Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University
6. Faculty of Education, Hokkaido University

著者連絡先 佐藤 由理
sato0428@edu.hokudai.ac.jp

I. 緒 言

北海道をはじめとする豪雪地帯を練習拠点にする陸上競技・長距離選手の競技成績が低迷している。特に国土交通省により定められた豪雪地帯対策特別措置法に基づき豪雪地帯に指定されている10道府県は、天皇盃全国都道府県対抗男子駅伝競走大会（毎年1月に開催・広島県）における成績が芳しくない。2014年開催の第19大会から過去10大会の成績を遡ると、前述の10チームにおいて優勝回数0回、入賞回数1回と成績の低迷が著しい。積雪地帯の長距離選手の強化が進まない背景には、長きに渡る冬季期間や積雪による屋外での身体活動およびトレーニングに制約が生じることが挙げられる。浦上ほか（1997）によれば、豪雪地帯の住民は積雪期に「運動量が少なくなる」と実感する人が多く、日常的に運動している人ほど非積雪期と比べてきつい運動をする割合が顕著に少なくなると報告している。志手ほか（1989）は寒冷・積雪地帯である北海道在住の小学生の有酸素性能力は非積雪期である夏季から秋季にかけ向上し、積雪期である冬季に低下すると報告しており、同様の報告がJan et al. (2013) によってドイツ・ミュンヘンにおいても報告されている。冬季期間における身体活動の制約は顕著であり、豪雪地帯の長距離選手たちは走行距離を伸ばす練習や走行速度を高めて走る練習がしづらくなっていると考えられる。

積雪地帯で冬期間に走行距離を伸ばそうとすれば、雪上を走る必要がある。なぜなら、日本において積雪のある自治体の多くでは、公的な除雪車出動の基準が積雪深10cm以上となっているからである。豪雪地帯では冬期間において日常的に積雪のない路面でトレーニングを行うことが困難となり、雪上でのランニングをトレーニングとして取り入れざるを得ない。

しかし実際にトレーニングに取り入れているという事例、あるいは雪上でのランニングや歩行の特性を示した文献・資料は非常に少ない。わずかに行われている先行研究によると積雪路面でのランニングは、通常路面よりも低い速度において酸素摂取量が同水準となる（須田ほか、1996）とされていることから、雪上路面でのランニングは走の経済性（ランニングエコノミー）が低くなることが予想される。運動学的特性の面では、通常路面と比較しストライド長が短いと報告され、関連して1サイクル動作中の接地時間が延長すると予想されている（須田ほか、1995）。また積雪路面での歩行においては胸部の加速度が減少していることから、上半身でのバランスコントロールが働くことも報告されている（角田ほか、1997）。バランス能力には特に背筋の瞬発的な筋力発揮が必要となることから（高橋ほか、2013）、雪上路面のランニングでは体幹部の筋活動が活発になっていると考えられる。浅賀ほか（2002）は、低摩擦床面での歩行開始1歩目で、接地時に必要とされる摩擦係数を低下する

ようなコントロール動作を行っているとは報告している。走行動作でも同様の変化が生じていれば、生理学的、運動学的に変化が認められ、これらの先行研究をまとめると雪上路面では筋活動が多くなる割に走速度の遅い走行動作になることが予想される。しかし、雪上路面と通常路面のランニング中における違いを比較した研究は見られない。雪上路面と通常路面のランニング特性の違いを明らかにすることは、積雪地帯に属する長距離選手のトレーニング方法の再考や、強化への一助となりえる。

そこで本研究の目的は、雪上路面でのランニング特性を明らかにするため、雪上路面と通常路面でのそれぞれのランニング時における生理学的特性および運動学的特性を比較・検討することとした。雪上路面と通常路面ランニングの比較を行うことで、雪上路面でのランニングによる特性を明らかにし、トレーニング効果について言及する。

II. 方 法

A. 被験者

本研究では北海道内の大学陸上競技部に所属し、長距離種目を専門とし日常的にトレーニングに取り組んでいる部員7名を対象とした。被験者の身体的特徴については表1のとおりである（身長 170.6 ± 3.5 cm、体重 58.0 ± 3.7 kg、年齢 20 ± 1 歳、競技年数 6.1 ± 1.5 年、5000mタイム $16分25秒 \pm 1分12秒$ ）。5000m走タイムについては、初回実験日から過去1年間で開催された公認競技会にて記録した最高タイムを採用した。なお本研究は、北海道大学大学院教育学研究院倫理委員会の承認を得て、全ての被験者に本研究の目的、方法および実験の安全性について説明を行い、書面による研究参加の同意を得た上で行った。

B. 実験プロトコル

測定は雪上路面条件を1月・2月・3月、通常路面条件を3月・4月に実施した。各条件の実験実施時の気象条件は表2に示した。路面条件は、雪上路面を雪質にて積雪観測ガイドブック（日本雪氷学会編、2010）を参照し、目視および触診にて「氷板」と評価・判断される場

表1 被験者の身体的特徴

被験者	年齢 歳	身長 cm	体重 kg	5000m	競技暦
a	22	175	59	18分18秒40	7年
b	19	165	50	15分45秒74	7年4ヶ月
c	21	169	61	16分07秒59	4年10ヶ月
d	20	171	60	16分26秒34	3年7ヶ月
e	18	169	60	16分25秒99	5年10ヶ月
f	20	175	58	17分24秒91	7年9ヶ月
g	20	171	58	15分35秒97	5年7ヶ月

合に測定を実施した。通常路面についてはアスファルトの乾燥路面とした。被験者の着衣は全員同様の服装、靴は日常的にトレーニングで使用している各自のランニングシューズを使用した。着衣やシューズの機能による差が結果に影響しないよう、それぞれの測定において同一の物を使用するよう指示した。本研究では生理学的特性と運動学的特性を検討するために2つの実験を行った。実験1において呼気ガス動態の測定を、実験2において筋電図と走行動作の測定を実施した。

1) 実験1

被験者にミキシングチャンバー法の呼気ガス分析器(VO2000, S&ME社製)をベルトにて背中に装着させ、呼気ガス採取用のマスクを装着させた。その後、北海道大学構内メインストリート(2.2km)の雪上路面および通常路面を走行させた。走行時の運動強度はカルボネン法(%HRReserve法)を用い、70%HRRを目標心拍数として規定した。ハートレートモニタ(Polar社製)を装着させ心拍数が規定値以上とならないよう、被験者はモニタリングしながら走行した。

2) 実験2

被験者に20mの区間について、口頭で「ハイペースのジョグ」と速度を伝え、条件間で同様の努力感となるよう統制し走行させた。その際、路面にマークした3つの十字に中心上を走行するよう指示した。分析対象区間は10mの助走区間に続く6mとした(図1)。また走行に先立ち、筋電図測定用のAg-AgCl電極(日本電光製、デイスポ電極F-150S)を装着し、筋電図正規化のために各被験筋において等尺性随意最大収縮(MVC)を5秒間保持する測定を2回行った。

表2 実験実施時の気象条件

	条件	気温 ℃	湿度 %
実験1	雪上	-0.69±2.80	44.29± 7.83
	通常	2.84±1.68	50.71± 9.82
実験2	雪上	-0.14±1.12	58.43±18.63
	通常	7.43±2.32	41.43±13.74

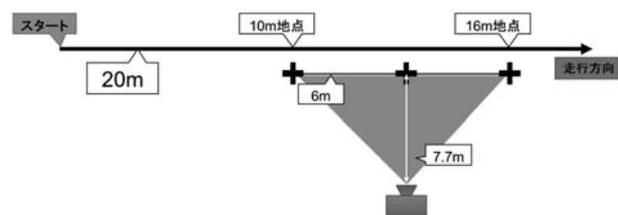


図1 実験試技実施時の機材配置と座標空間

C. 測定項目

1) 実験1

1. 呼気ガス動態

走行中を通じて、分時換気量($\dot{V}E$)、酸素摂取量($\dot{V}O_2/kg$)、呼吸交換比(RER)を呼気ガス分析器によって測定した。サンプリング間隔は10秒とした。得られたデータより走速度と心拍数が定常状態となった最後の3分間を分析対象とした。

2. 走速度

走速度の算出は走行した距離(2.2km)を走行時間で除すことによって求めた。走行時間は、雪上路面では9分40秒~14分00秒、通常路面では9分20秒~12分10秒であった。

2) 実験2

1. 筋電図

被験筋は上肢のバランスコントロールに寄与している脊柱起立筋、腹直筋、走の加速局面において役割を果たす大殿筋、大腿直筋、大腿二頭筋、また雪上路面において下肢のバランスコントロールに寄与していると考えられる前脛骨筋、腓腹筋、ヒラメ筋の8筋とした。測定には多用途無線筋電計Biolog(DL5000, S&ME社製)を使用した。被験者に小型データロガー(DL500, S&ME社製)と18×36mmのAg-AgCl電極を電極間10mmにて各被験筋の筋腹の中央部に装着させた。装着箇所は事前に剃毛し、雪上路面と通常路面それぞれの測定において同じ箇所に装着するよう留意した。走行中は左右差が認められないという仮定のもと、利き脚と非利き脚を区別することなく、片側(右側)の脚から導出した。各筋から導出された筋放電量を規格化するため、以下に示す動作中をいずれも検者が負荷をかけながら最大努力2回実施させ筋放電量を測定した。脊柱起立筋は背筋運動、腹直筋は腹筋運動、大殿筋は床面に座位姿勢となり膝関節伸展位のまま脚を挙上、大腿二頭筋は床面に腹臥位となり膝関節伸展位のまま脚を挙上、大殿筋は腹臥位姿勢をとらせ膝関節角度90度屈曲位から脚を挙上、腓腹筋は立位姿勢のまま脚関節を底屈、ヒラメ筋は座位姿勢のまま足関節を背屈、前脛骨筋は座位姿勢での足関節の底屈を被験者に行わせた。2回の実施で高い値を示した筋放電量を規格化に利用した。導出された信号はサンプリング周波数1000Hzで小型データロガーに記録したのち、DL5000にデータ送信後、パーソナルコンピュータ(PC)に取り込んだ。PCに取り込まれた筋活動電位はハイパスフィルタを遮断周波数15Hzにてかけ、整流平滑化を行い、iEMGとして評価した。その後、MVC時の筋活動の最大値を100%とした% iEMGとして規格化した。

2. 走行動作

撮影はデジタルカメラ (EXILIM EX-F1, CASIO 社製) を用い、ハイスピード撮影 (300fps) にて行った。撮影した動画の解析は、動作解析システム (Frame-DIAS IV, DKH 社製) を用いて行った。毎秒300コマで手動デジタイズを行い、身体分析点23点および較正マーク4点の2次元座標値からDLT定数を算出し、2次元DLT法を用いて各身体分析点の2次元座標値を算出した。疾走局面は以下の通り定義した。右脚接地瞬間から右脚離地瞬間までを右脚支持期 (F1)、右脚離地瞬間から左脚接地瞬間までを右脚遊脚期 (F2)、左脚接地瞬間から左脚離地瞬間までを左脚支持期 (F3)、左脚離地瞬間から右脚接地瞬間までを左脚遊脚期 (F4) とした。1サイクルは右脚の接地瞬間から次の接地瞬間までと定義した。接地および離地時間については $1/300 \times \text{コマ数} = \text{時間の式}$ で算出し、1サイクル (2歩) の平均値を算出した。また各ステップのつま先接地位置の差分より、ストライド長を求めた。得られた映像と筋電図を同期するために、筋電図のサンプリング開始時に発光するLEDをカメラ画角内に映しこんだ。

D. 統計処理

全ての測定項目について、雪上路面と通常路面の条件間での比較を、対応のあるt検定を用いて行った。統計学的有意水準は5%未満とし、5%以上10%未満を有意傾向とした。

III. 結 果

A. 実験 1

1. 走行中の心拍数と呼吸ガス動態

表3に被験者全員の走行中の平均心拍数と呼吸ガス動態を示した。雪上路面と通常路面で走行中の平均心拍数には差がなかった。呼吸ガス動態では、 $\dot{V}E$ と RER において条件間に有意傾向が認められ、 $\dot{V}E$ では通常路面が、RER では雪上路面が高い傾向にあった。 $\dot{V}O_2/kg$ には条件間に差はなかった。

2. 走速度とランニングエコノミー

表3に示したように、走行時間と走行距離より算出した走速度については条件間で有意な差が認められた ($p < 0.01$)。雪上路面ランニングにおいて $183 \pm 26 \text{ m/min}$ であったのに対し、通常路面ランニングでは $213 \pm 17 \text{ m/min}$ と、雪上路面ランニングにおいて有意に低い走速度となった。

両条件下におけるランニングエコノミーを $\dot{V}O_2/kg$ と走速度から算出した。算出には以下の式を用いた。

$$\text{ランニングエコノミー (ml/m)}$$

$$= \text{3分間当たりの } \dot{V}O_2/kg \div \text{3分間当たりの仕事量 (移動距離)}$$

この式において、仕事は移動距離×体重となるが、両条件下で体重は等しいと考えられることから体重は計算式に用いなかった。ランニングエコノミーの被験者ごとの値を表3に示した。条件間に統計的有意差は認められず、雪上路面と通常路面でランニングエコノミーに差がないことが明らかとなった。

B. 実験 2

1. % iEMG 値

表4に雪上条件と通常条件における被験筋の%iEMG値を示した。条件間で有意差が認められたのは、F1における腹直筋、F2における腹直筋と大腿二頭筋、F3における脊柱起立筋であった。また、有意傾向が認められたのは、F1における脊柱起立筋、大殿筋、大腿直筋、大腿二頭筋および腓腹筋、F3における大腿二頭筋およびF4における腹直筋であった。いずれの有意差と有意傾向とも、雪上路面の結果が通常路面の結果よりも低値であった。このことから、本研究で対象とした8筋の活動量は、雪上路面ランニングでは通常路面ランニングよりも少なくなることが明らかとなった。

2. 走行動作

接地時間、離地時間、1サイクルの所要時間、速度、およびストライド長の被験者ごとの数値を表5に示した。全ての項目において、条件間で有意差は認められなかった。

表3 被験者ごとの雪上路面および通常路面ランニング時の心拍数、 $\dot{V}E$ 、 $\dot{V}O_2/kg$ 、RER、走行速度、ランニングエコノミー

	心拍数 拍/分		$\dot{V}E$ l/min		$\dot{V}O_2/kg$ ml/min		RER		走行速度 m/min		ランニングエコノミー ml/m	
	雪上	通常	雪上	通常	雪上	通常	雪上	通常	雪上	通常	雪上	通常
a	155	155	85.65	97.25	53.41	67.18	0.91	0.80	227	240	0.0081	0.0102
b	158	161	69.90	78.61	55.89	54.49	0.59	0.89	171	183	0.0085	0.0083
c	162	159	66.38	111.23	40.21	55.88	0.87	0.93	155	209	0.0061	0.0085
d	159	158	84.08	89.88	53.03	56.26	0.86	0.88	178	220	0.0080	0.0085
e	160	159	79.17	79.58	38.85	44.93	1.06	0.80	157	209	0.0059	0.0068
f	157	159	104.31	99.22	56.96	58.19	0.85	0.75	206	216	0.0086	0.0088
g	157	155	101.81	104.95	57.28	51.05	0.93	0.99	185	216	0.0087	0.0077
mean	158	158	84.47	94.39	50.80	55.42	0.87	0.86	183	213	0.0077	0.0084
SD	± 2.11	± 2.07	± 13.43	± 11.43	± 7.29	± 6.28	± 0.13	± 0.07	± 24.19	± 15.70	± 0.0011	± 0.001
P値	0.736		0.08		0.46		0.09		0.006		0.179	

表4 雪上路面と通常路面での4つのランニングサイクル局面における被験筋の% iEMG平均値の比較

被験筋	条件	F1	F2	F3	F4
脊柱起立筋	雪上	5.43±5.04	4.21±3.17	4.16±2.71	6.72±6.59
	通常	20.31±13.46	4.37±3.781	9.78±12.82	15.77±12.49
	P値	0.050	0.738	0.030	0.207
腹直筋	雪上	3.98±2.53	5.92±4.99	3.96±2.35	6.20±4.26
	通常	10.75±5.56	16.58±12.79	13.53±9.81	11.75±6.95
	P値	0.043	0.048	0.680	0.096
大殿筋	雪上	3.36±1.73	5.40±5.36	3.15±2.09	3.94±3.59
	通常	8.89±7.09	5.85±3.77	5.73±3.82	5.68±3.48
	P値	0.099	0.905	0.181	0.528
大腿直筋	雪上	7.94±6.70	13.88±19.77	11.63±11.36	10.25±12.77
	通常	21.07±12.03	25.08±16.67	17.93±9.73	16.59±8.76
	P値	0.092	0.391	0.421	0.449
大腿二頭筋	雪上	6.46±3.76	7.26±5.51	6.30±3.43	6.87±5.25
	通常	29.88±26.73	28.90±17.98	26.57±22.81	34.32±43.78
	P値	0.090	0.009	0.064	0.150
前脛骨筋	雪上	8.69±7.63	6.02±3.21	10.37±6.77	16.92±25.26
	通常	10.09±3.63	9.20±4.18	9.66±2.63	10.14±5.44
	P値	0.666	0.159	0.779	0.457
腓腹筋	雪上	4.93±3.76	4.04±3.04	2.90±0.91	5.39±4.30
	通常	15.53±8.99	12.89±12.69	25.68±34.85	13.14±12.10
	P値	0.057	0.176	0.160	0.254
ヒラメ筋	雪上	4.55±3.65	3.44±2.61	2.71±1.85	3.50±4.06
	通常	7.27±6.18	8.17±9.35	8.41±7.28	4.84±4.04
	P値	0.259	0.306	0.101	0.530

イタリックは有意差あり，網掛けは有意傾向

表5 被験者ごとの雪上路面および通常路面ランニング時の接地時間，離地時間，ストライド長，および1サイクルのタイムと速度

路面条件		接地時間 sec	離地時間 sec	ストライド m	タイム (1cycle) sec	速度 (1cycle) m/sec
雪上	a	0.220	0.410	1.32	0.652	4.55
	b	0.200	0.423	1.20	0.672	3.91
	c	0.210	0.413	1.19	0.643	4.21
	d	0.200	0.487	1.39	0.707	4.49
	e	0.183	0.427	1.21	0.595	4.65
	f	0.190	0.457	1.25	0.665	4.42
	g	0.210	0.453	1.39	0.647	4.64
	mean	0.202	0.439	1.28	0.654	4.45
	SD	0.012	0.026	0.08	0.031	0.30
通常	a	0.263	0.387	1.27	0.670	4.39
	b	0.227	0.417	1.12	0.662	4.08
	c	0.207	0.410	1.26	0.569	4.83
	d	0.197	0.483	1.37	0.867	3.83
	e	0.193	0.377	1.33	0.630	5.14
	f	0.183	0.450	1.28	0.622	5.00
	g	0.197	0.447	1.33	0.619	4.81
	mean	0.210	0.424	1.28	0.663	4.58
	SD	0.025	0.035	0.07	0.089	0.45

条件間に有意差は認められなかった。

IV. 考 察

本研究は雪上路面でのランニング特性を明らかにするため，雪上路面と通常路面でのそれぞれのランニング時における生理学的特性および運動学的特性を比較した。本研究では走行距離や速度設定の異なる実験1および実験2の内容を踏まえたうえで雪上路面のランニング特性を検討した。フィールド実験において速度設定を統一するのは技術的に困難であるため，2つの実験を行うことで雪上路面と通常路面の走行特性がより明らかになった。結果については原因を明らかにすることができない部分もあるが，これまで雪上路面の走行時の特性を仔細

に検討した研究は見当たらず，本研究がその最初の研究と言える。

実験1の結果から， $\dot{V}E$ とRERには有意傾向が認められたものの， $\dot{V}O_2/kg$ には有意差はなく，走速度のみ雪上路面ランニングで有意に低下していた。この結果は須田ほか(1996)の報告と一致している。雪上路面ランニングにおいて同一の酸素消費では走速度が遅く，ランニングエコノミーが低くなっていると考えられた。しかしランニングエコノミーを計算式にあてはめると，条件間での有意差は認められず，雪上路面と通常路面ランニングでランニングエコノミーには差がなかった。しかしながら，心拍数を等しく設定しているにも関わらず，走行速度は雪上路面で有意に低くなった。

そこで，走行速度を一定にして筋活動量や走行動作を検討する実験2を実施した。その結果，雪上路面では通常路面ランニングと比較して走行動作に有意差はないが，体幹や脊柱の安定，および走のドライブ動作に関与する筋活動が抑制される傾向が認められた。この傾向は特にF1(右脚支持期局面)において顕著であった。F1において通常路面ランニングにおいて筋活動量に有意差があったのは腹直筋，有意傾向があったのは脊柱起立筋，大殿筋，大腿直筋，大腿二頭筋および腓腹筋であった。

その他の局面において有意差があったのはF2の腹直筋、F2の大腿二頭筋およびF3の脊柱起立筋であった。

F1とF3の局面は左右の脚それぞれにおける支持期であった。Grillner et al. (1987)によると体幹筋活動と下肢アライメントの関係性について、着地時における体幹筋活動は、脊柱や体幹の安定化に作用するとしている。このことから、雪上路面では通常路面と比較して、体幹や脊柱の安定化がはかられていなかったと推察される。また、F2では大腿二頭筋と腹直筋の活動も有意に低下した。本研究の腹直筋F1と脊柱起立筋F3においても、同様の筋活動が発生したと推測される。F2では大腿二頭筋および腹直筋が有意に活動した。大腿二頭筋は立脚相におけるドライブ動作の中心的役割を担う筋であり、速度へ貢献する可能性の高い筋である(吉岡ほか, 2009)。そのため、F2については右脚のドライブ動作による筋活動量の増加が顕著に反映されたものと考えられる。以上のことから、実験1における雪上路面の走速度低下は、体幹や脊柱の安定化の低下、ドライブ動作に関与する筋活動の低下に起因していると推察される。

雪上路面では積極的に利用されていると考えていた体幹部の筋肉である脊柱起立筋や腹直筋の活動は、いずれも通常路面と比較して雪上路面ランニングにおいて% iEMGが少なくなっていた。しかしながら、バランス能力にはいずれの筋、特に背筋の瞬発的な筋力発揮が必要となることや(高橋ほか, 2013)、低摩擦床面での歩行開始1歩目で、接地時に必要とされる摩擦係数を低下するようなコントロール動作を行う(浅賀ほか, 2002)など走行動作の適応に伴い、雪上路面のランニングにおいても歩行動作と同様に体幹部の筋活動が活発になっていると想定していた。つまり、摩擦係数の低い雪上路面ランニングでは、走行動作とそれに関連する筋活動量が通常路面ランニングよりも高値を示すと考えていた。本研究の仮説とは異なる結果となった原因としては、歩行動作においては完全に離地している局面がなく、また接地時間も走行動作と比較して長いことから、浅賀ほか(2002)の研究と本研究での相違は歩行と走行の動作の違いによるものと考えられる。

雪上路面ランニングの支持期における体幹部の筋活動は、部位や局面により通常路面ランニングより雪上路面ランニングで有意に小さく、表4に示したように雪上路面ランニングでは筋力発揮があまりされていないことが明らかとなった。走行動作は設定した全ての測定項目において、条件間での有意な差が認められない結果となった。須田ほか(1996)は雪上のような摩擦の少ない軟弱な路面では、脚の発揮パワーが増加するほどエネルギーが吸収され1サイクル動作中での接地時間が増加すると予想している。しかし本研究では条件間で接地時間およびストライド長には有意差がなかった。また、雪上路面ランニングでは通常路面ランニングよりも臀部や脚筋の% iEMGが小さい傾向にあり、筋活動量の増加は認め

られなかった。増加が認められなかった理由として、摩擦係数の低い雪上路面においては臀部や脚の発揮パワーの増加は、前方への推進力ではなく後方へのスリップにつながり、転倒するリスクが高まる可能性が考えられる。この転倒リスク回避のため、臀部や脚の筋活動は抑制されていたのかもしれない。

雪上路面でのランニングは雪上路面での歩行とは異なり、接地時における足関節動作の変化は起こらない。浅賀ほか(2002)は低摩擦床面での歩行開始1歩目の動作がどのようにコントロールされているかを検証している。この検証では、着地時に踵接地から足底接地までの時間差は高摩擦床面よりも有意に減少し、足関節の可動域が有意に増加していた。これは歩行開始1歩目の接地時に必要摩擦係数を増加させない戦略として、フラットフットを行うために足関節の底屈運動が要求された結果であるとしている。雪上路面を始めとする低摩擦係数の路面においては、前述したような接地時の動作の適応が必要であると考えられる。しかし本研究の被験者の雪上路面ランニングにおける走行動作は、通常路面ランニングと比較して違いがなかった。歩行と走行では接地と離地時間などの運動学的特性が異なることから、フラットフットを実践するための動作は走行中においては行われていないと考えられる。

条件間で走行動作に違いがないのであれば、関連して筋活動は同程度になると考えられる。また条件間で走速度が同程度であれば、筋活動量の多い路面条件において $\dot{V}O_2/kg$ は高くなることが予想され、ランニングエコノミーは低くなる。しかし本研究では雪上路面と通常路面ランニングにおいて筋活動量と走行速度に違いがあったが、呼気ガスと走行動作に違いがないという矛盾した結果が示された。矛盾した結果の要因は現段階では不明である。冬季の外気温の低さが筋活動に影響を及ぼした可能性も考察したが、寒冷環境下での運動は生理学的ストレスや障害リスクを増加させることがないと言われており(ACSM日本体力医学会体力科学編集委員会訳, 2011)、原因として決定的ではない。他の原因として考えられるのは、本研究では実験2における走速度の測定が1サイクルと非常に短い距離であったことである。三本木ほか(2003)によると、マラソンレースは脚の筋力・筋パワーを低下させ、走行動作やランニングエコノミーを変化させる傾向にあることが報告されている。このことから走行動作の測定における助走区間を長く設定し、実際の長距離走レースのコンディションにより近づけた状態で測定を実施した場合、異なる結果となった可能性がある。また、実験2の雪上路面ランニングにおいて筋の活動量が抑制的だったにも関わらず走行速度に有意差が認められなかったのは、被験筋以外の筋活動が増加したためではないかと推察される。松尾ほか(2011)はスプリント走運動における内転筋の活動が高速の切り返し運動における股関節の安定に関わっているとしている。被験筋以

外の股関節回りの筋群などが作用し、走行速度を一定に保った可能性がある。

以上のことから、雪上路面ランニングのランニングエコノミーは通常路面ランニングと比較して有意差はないものの、筋の活動量が抑制されていたことから走行速度が向上しないことが推察された。従って、長距離走のパフォーマンス向上に直接的な改善をもたらさないと考えられる。

V. 結 論

本研究は日常的にトレーニングしている大学生の長距離選手を対象に、雪上路面でのランニング特性を明らかにするため、雪上路面と通常路面でのそれぞれのランニング時における生理学的特性および運動学的特性を比較・検討した。その結果、雪上路面ランニングは通常路面ランニングと比較して呼気ガス動態、運動学的特性に大きな差は認められず、走速度のみ低下した。また走行動作のドライブ局面において必要な大腿二頭筋の筋活動量が雪上路面ランニングにおいて有意に低値を示し、走速度を高めるために必要な推進力が生まれにくいと考えられる。以上のことから、北海道における長距離選手の冬季期間のトレーニング効果を高めてパフォーマンスを向上させるには、通常路面と同様な路面、すなわち屋内施設の充実などが必要なことが改めて確認された。

VI. 参考文献

ACSM (2011) 運動処方指針、運動負荷試験と運動プログラム。南江堂、東京、pp.205-206.

Arthur Lydiard (1993) 第5章 自然の中を走っている。いろいろな側面から鍛えるクロスカントリー、リディアードのランニング・バイブル。大修館書店：東京、pp.79-84.

浅賀忠義・斎藤展士・吉田直樹・浦上大輔・鎌田幸司(2002) 低摩擦床面における歩行開始 1歩目の動作コントロールについて。理学療法科学, 17 (1) : 49-52.

Bassett D. R. Howly, E. T. (1959) Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. Med. Sci. Sports. Exerc., 36 (1) : 228-235.

Billat LV. (2001) Interval training for performance : a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I : aerobic interval training. Sports Med. 31 (1) : 13-31.

Grillner S, Nilsson J, Thorstensson A. (1978) Intra-abdominal pressure changes during natural movements in man. Acta Physiol Scand. 103 (3) : 275-283.

Jan Müller, Birgit Böhm, Julia Elmenhorst, Christiane Barta & Renate Oberhoffer. (2013) Reduction of exercise capacity in children from summer to winter is associated with lower sporting activity : a serial study. Pediatric Research. 74 : 439-442.

角田和彦・須田力・中川功哉 (1997) 積雪路面における歩行の特徴。日本体育学会大会号, 48 : 322.

松尾信之介・藤井宏明・菊山靖・大山下圭悟 (2011) 走速度変化に伴う股関節内転筋群活動の変化。体育学研究, 56 (2) : 287-295.

日本雪氷学会編 (2010) 積雪観測ガイドブック。朝倉書店 : 東京, pp.100-101.

三本木温・佐伯徹郎・鍋倉賢治・高松薫 (2003) マラソンレースにおける走速度の低下と走の経済性、走行動作および筋力・筋パワーの変化との関係。体育学研究, 48 (6) : 725-736.

志手典之 (1989) 寒冷・積雪地域における児童の有気的能力および無気的能力の年内変化について。体力科学, 38 (6) : 543.

須田力・中川功哉 (1995) 雪上路面のランニングの強度。体力科学, 44 (6) : 741.

須田力・浦上大輔・角田和彦・中川功哉 (1996) 積雪路面の歩行・ランニングの運動強度, ピッチ, ストライド。日本体育学会大会号, 47 : 326.

高橋恵美・石田恭子・上嶋良・岡田武士・神保彩子・木下裕美子・成田誠 (2013) 体幹筋力発揮時間とバランスの関係。理学療法科学, 28 (2) : 209-214.

浦上大輔・浦田清・布上恭子・渡会雅明・浜野貢・須田力・中川功哉 (1997) 積雪地の高校生・高専生の生活と身体活動—積雪期と非積雪期における生活と身体活動の比較—。発育発達研究, 25 : 20-28.

吉岡利貢・中垣浩平・向井直樹・鍋倉賢治 (2009) 筋の形態的特徴が長距離走パフォーマンスに及ぼす影響。体育学研究, 54 : 89-98.

吉岡利貢・中垣浩平・中村和照 (2012) 世界トップレベルで活躍するケニア人長距離ランナーの体力・形態特性。体育学研究, 57 (1) : 237-248.

〔平成26年12月20日 受付〕
〔平成27年6月22日 受理〕