積雪路面の歩行・ランニングの運動強度

須田　力・中川　功哉（北海道大学教育学部）・秋田谷英次（北海道大学低温科学研究所）・原　文宏（開発技術センター）

1．研究の目的

積雪地では冬季間の生活はとかく非活動的になり勝ちで、体力が低下しやすい。健康で活動的に生きていくためには一定水準以上の有酸素性能力（VO_2 max）が必要であり、それを維持するための強度、時間の運動が必要である[6]。このような運動としては、歩行やランニングが推奨され、速度から酸素摂取量（VO_2）を推定する式や換算表が提示されているものの、積雪地の冬季の歩行・ランニングに関しては、まだこのようなデータが示されていない。また、歩行については積雪の深さと負担度との関係[2)3)5)]やシューズの重量と運動強度との関係についての研究[7)]はあるが、ランニングに関する研究はほとんどない。トレーニングとしての歩行やランニングは、通常雪が深く積もった路面よりも除雪され踏み固められた路面で行われており、これが非積雪路面と比較してどの程度強度が増加するのかについては検討されていない。本研究の目的は、歩行およびランニングについて非積雪期と積雪期の運動強度、血圧応答などを比較することによって、積雪地域の住民の運動処方の参考資料を作成することである。

2．方　　法

（1）歩　行：被検者は、札幌市内に住む64～80、平均71歳の男子高齢者10名で、いずれも急性の疾患がなく血圧がＷＨＯ基準の境界値以下の者である。歩行の条件は、非積雪期（４月）および積雪期（１月）に直線距離 200ｍの平坦な歩道を１セット２往復とした。速度は一律に規定せず、各自の主観的な強度で「楽な強度」と「ややきつい強度」の２段階を実施した。冬季の路面は、「圧雪」で木下式硬度計による硬度[4)]は、14,700～34,000、平均 25,700g／cm^2であった。気温は、非積雪期が＋6 ～16、平均＋10.7℃、積雪期が－6 ～＋3 、平均－1.2 ℃であった。測定項目は、以下の指標を用いた。

①心拍数：胸部誘導による心電図を、携帯用データーレコーダー（TEAC, HR30J）に記録した。

②酸素摂取量（VO_2）：各段階の定常状態の呼気をダグラス・バッグに採集後、換気量を乾式ガスメーター（品川精器製、DC-5C)で測定し、呼気ガスモニター（日本電気三栄社製、IH-21A）でO_2 およびCO_2 濃度を測定した。

③主観的作業強度（ＲＰＥ）：Borg[1)]のスケールを用いた。

④血　圧：携帯用血圧計（Ａ＆Ｄ社、TM20）を用い、安静時座位で２回、屋外で運動前立位で１回、歩行の各段階に２回、回復６分目室内に戻って座位で１回、計８回測定した。

⑤歩行の指標：被検者の足底に感圧ゴムセンターを装着し、接地のパルスを心電図と同じ携帯用データーレコーダーに記録した。

（2）ランニング：被検者は、ランニングなどの定期的な運動を行っている健康な20～51、平均

34歳の男性11名である。ランニングの条件は、往復1600mの平坦な歩道のランニングを1セットとして4段階の強度で、非積雪期（11月）と積雪期（12～1月）に実施した。雨天や降雪の日は避け、気温は、非積雪期が+9～11、平均+10℃、積雪期が0～+3、平均+1℃であった。積雪期の路面は、「圧雪」ないし「つるつる圧雪」、硬度は5.3～5.8 ×10,000g／cm²であった。測定項目は、以下の指標を用いた。①心拍数：ハートレート・モニター（Canon社製、PE-3000）を用いた。②VO_2：各段階の定常状態（終了1～2分前）の呼気をダグラス・バッグに採集後、歩行と同じ機器を用いて測定した。③血中乳酸値：各段階の運動終了直後の血液を指尖から採取し、ラクテート・アナライザー（日科機製、YSI-1500）で測定した。

表1　男子高齢者10名の非積雪期と積雪期の歩行の強度

指標	条件	非積雪期 M±SE		積雪期 M±SE	
心拍数（拍／分）	安静時	73.8	3.4	74.5	1.6
	軽歩行	91.0	3.2	89.3	1.7
	速歩	112.4	4.8	110.2	4.0
	回復時	84.0	4.3	87.7	3.4
酸素摂取量（ml/kg／分）	安静時	3.8	0.5	4.1	0.4
	軽歩行	13.5	0.5	13.7	0.7
	速歩	19.6	1.1	21.6	1.4
代謝当量（METS）	軽歩行	3.9	0.1	3.9	0.2
	速歩	5.7	0.3	5.9	0.4
換気当量（V_E / VO_2）	安静時	36.3	2.2	31.3	2.4
	軽歩行	29.3	1.0*	24.9	1.4
	速歩	29.6	1.4**	25.6	0.8
RPE	軽歩行	10.5	0.4	10.2	0.5
	速歩	13.0	0.3**	11.4	0.5
歩行速度（m／分）	軽歩行	64.2	1.5***	55.0	2.0
	速歩	82.4	2.7**	76.5	3.2
歩数（歩／分）	軽歩行	112.1	1.7	108.1	2.4
	速歩	127.0	2.3	125.9	3.7
ストライド（cm）	軽歩行	57.4	1.5**	51.0	1.8
	速歩	65.1	2.0	60.8	1.8

* ……$p<0.05$,　** ……$p<0.01$,　*** ……$p<0.001$

3．結　果

（1）歩　行

表1に、安静時、楽な強度の歩行（「軽歩行」）、ややきつい強度の歩行（「速歩」）の生理学的指標及び運動学的指標について、非積雪期と積雪期で比較した結果を示す。心拍数、VO_2、代謝当量の平均値はいずれも有意な差はないが、心拍数は非積雪期の方がわずかに高かった一方、VO_2は非積雪期の方がわずかに高い。

RPEは速歩では、有意な差であり、積雪期の方が相対的に楽な強度と感じられていたことになる。換気当量（V_E／VO_2）は、軽歩行、速歩いずれも積雪期の方が有意に低かったことから、積雪期の方が呼吸効率が良かったといえる。運動強度は相対的に同程度であったと判断されるが、

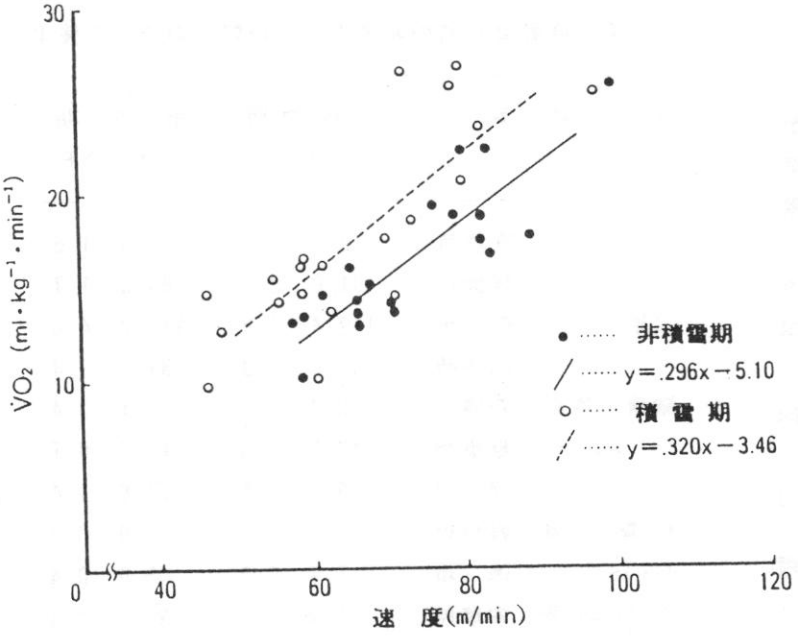

図1．非積雪期および積雪期における男子高齢者の歩行速度と$\dot{V}O_2$との関係

歩行速度は積雪期の方が軽歩行で 9m／分、速歩で 6m／分低かった。この差は歩数よりもストライドの低下によるものであった。

図 1に、速度（X軸）と$\dot{V}O_2$（Y軸）との関係を非積雪期（●）と積雪期（○）別に示す。回帰式は、それぞれ、y＝ 0.296x－ 5.10 、y＝ 0.320x－ 3.46と、勾配はほぼ平行で積雪期の歩行は同じ速度で$\dot{V}O_2$が約 3.5 ml 高くなっている。

図 2に血圧の動態を示す。収縮期血圧、拡張期血圧とも積雪期の方が安静時、屋外の運動前、運動時、回復時いずれもやや高めであったが、いずれの差も有意ではなかった。個別に見ると、運動時に収縮期血圧が200mmHg を越えた例は、積雪期において２例見られた。

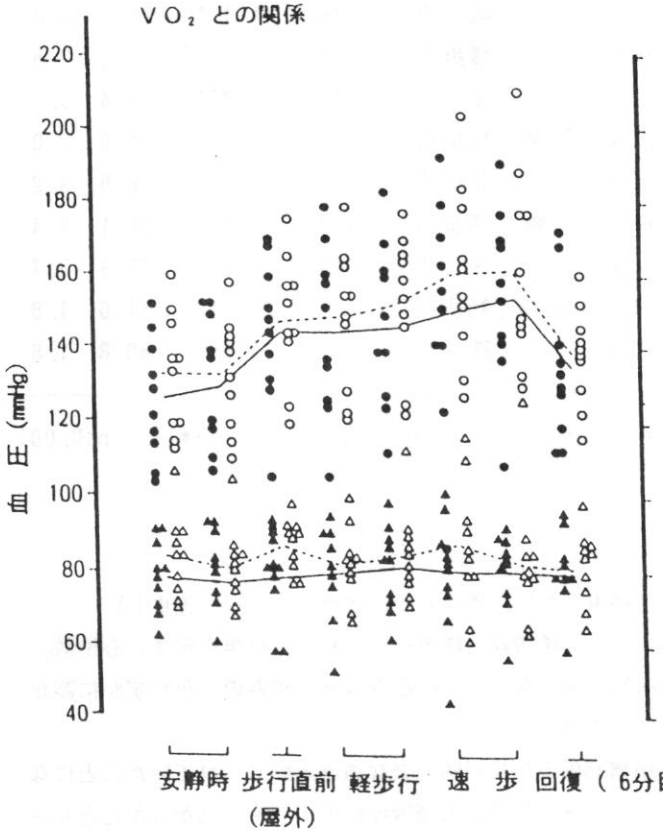

図2．男子高齢者10名の非積雪期（●）および積雪期（○）における歩行時の血圧応答

（2）ランニング

図 3に非積雪期と積雪期のランニングの速度（X軸）と$\dot{V}O_2$（Y軸）との関係を示す。歩行と同様に積雪期のランニングは非積雪期よりも同じ速度での$\dot{V}O_2$は 2～3 ml高かった。心拍数も同じ

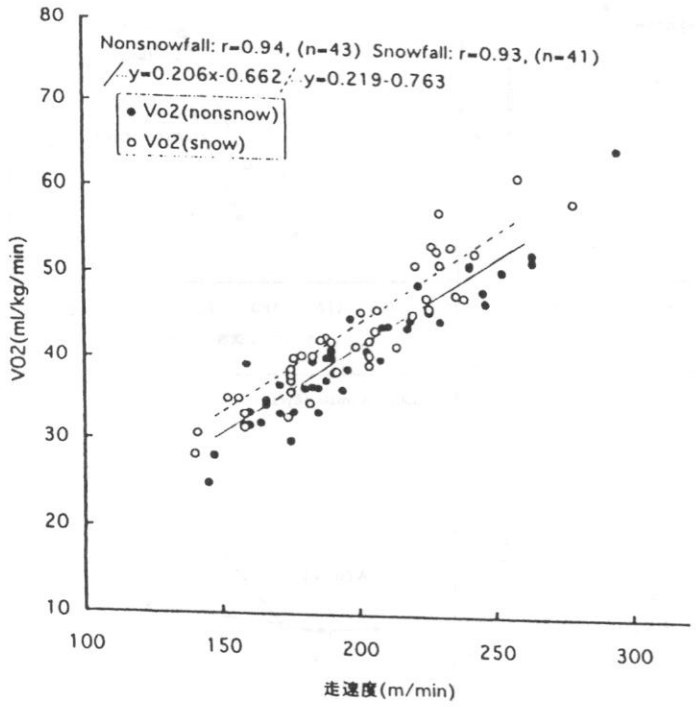

図3　非積雪期（●）および積雪期（○）における走速度とＶＯ₂（ml/kg·min）との関係

傾向が見られ、積雪期は非積雪期よりも同じ速度で 6～8 拍／分高かった。血中乳酸値も、図 4 に示すように各被検者とも乳酸の分解よりも蓄積の速度が上回る結果、有酸素性代謝と共に無酸素性代謝も総動員される代謝の変曲点（ 4 mmol/L 付近）がいずれも10～15m／分右側に移動している。以上の結果から、積雪期のランニングは圧雪路面でも、非積雪期よりも10～15m／分低い速度で積雪期と同じ強度と判断された。

4．考　察

積雪路面の歩行における積雪の深さと生理的負担度の増加に関して Pandolfら[5] や Heinonennら[3] により積雪の深さや足が雪に沈む深さに比例してエネルギー消費量が増加することが指摘されている。通常高齢者やランナーたちがトレーニングとして利用しているコースは、多くの場合除雪された歩道であり、本研究はこのような場面を想定して通行量の多く踏み固められたコースで実施した。測定時期が１月で路面の硬度も大きく、キックによる足の沈みこみもわずかであった。そのため、歩行、ランニングいずれもこれらの研究者の結果と異なり、同じ速度に対するＶ

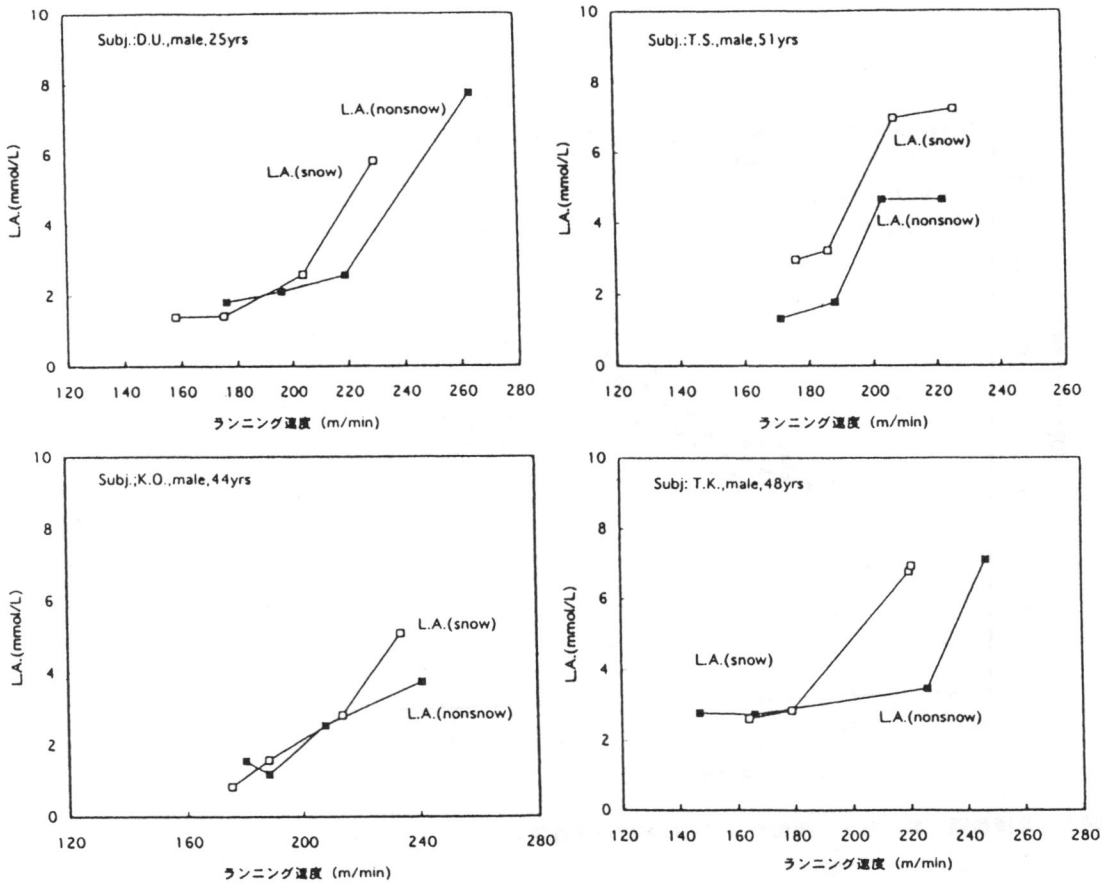

図4．４名の男子の非積雪期（■）と積雪期（□）のランニングの速度と血中乳酸値との関係

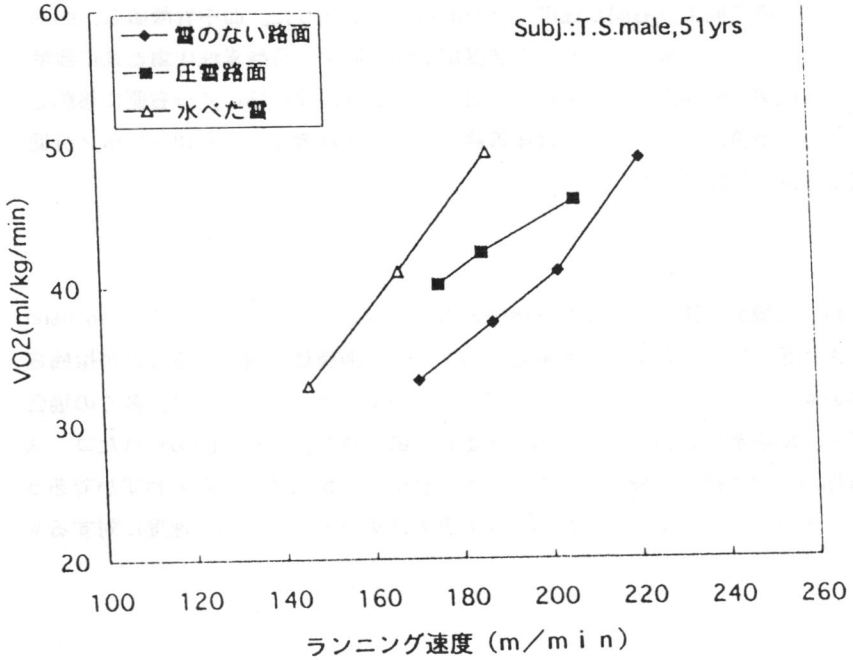

図 5. 異なる雪質での速度とＶＯ₂との関係

O_2 の増加は 2～3 ml/kg/min 程度であった。ランニングの場合は、心拍数の増加度、血中乳酸度の上昇レベルから見ても積雪期には、非積雪期に対して10～15m／分低い速度で同じ程度の運動強度（トレーニング効果）が期待できると思われる。一方、早春の「水べた雪」では、このような条件と異なり、同じ速度でも一層強度が増す。図 5は、51歳の男性が、非積雪期、１月の圧雪、３月の水べた雪の異なる３条件でランニングを実施した結果から得られた速度とVO_2との関係式である。水べた雪では非積雪路面よりも毎分40m低い速度でほぼ同じVO_2となっている。このことから、雪路の歩行やランニングは、路面の状態によって運動強度の変動が大きいので、今後雪質との関係についてさらに詳細なデータを求めていきたい。

参 考 文 献

1) Borg, G. A. V. (1982) Psychological Basis of Perceived Exertion. Med. Sci. Sports Exc. 14:377.

2) Christensen, E. H. and Horberg, P. (1950) Physiology of skiing. Arbeitphysiologie. 14:292-303.

3) Heinonen, A. O., Karvonen, M. J. and Ruosteenja, R. (1991) The Energy Expenditure of Walking on Snow at Various Depth. Ergonomics. Vol. 82:389 394.

4) 秋田谷英次・山田知充（1991）積雪調査（日本雪氷学会北海道支部編『雪氷調査法』，北海道大学図書刊行会.

5) Pandolf, K. B., Haisman, M. F. and Goldman, R. F. (1976) Metabolic Energy Expenditure and Terrain Coefficients for Walking on Snow. Ergonomics. Vol. 19, No. 6:683 690.

6) 進藤宗洋（1990）厚生省の「健康づくりのための運動所要量」について ── 身から錆を出さない、出させない』暮らし方の原理の提案 ──．保健の科学. 32巻, 3号:139 156.

7) Smolander, J., Louhevaara, V. and Hakola, T. (1989) Cardiorespiratory strain during walking in snow with boots of differing weights. Ergonomics. Vol. 32, No. 1:3 13.

8) 須田　力・中川功哉・秋田谷英次・原　文宏・佐々木敏（1993）体力学からみた高齢者の冬季歩行について. 寒地技術シンポジウム´93講演論文集. 232-237.