若年成人男性のシヨベル除雪作業時における深部体温の変化 —中国地方の豪雪地帯にて行った実践的研究—

高木 祐介^{*1}, 和久利 久^{*2}, 小野寺 昇^{*3}, 小野 ミツ^{*4}

^{*1} 川崎医療福祉大学大学院医療技術学研究科

^{*2} 島根県飯南町役場赤名庁舎

^{*3} 川崎医療福祉大学医療技術学部

^{*4} 九州大学大学院医学研究院

Changes in Core Temperature during Snow Shoveling among Healthy Young Males in Heavy-Snowfall Area of Chugoku Region in Japan

Yusuke TAKAGI^{*1}, Hisashi WAKURI^{*2}, Sho ONODERA^{*3} and Mitsu ONO^{*4}

^{*1}Graduate School of Health Science and Technology, Kawasaki University of Medical Welfare

^{*2}Iinan Town Akana Office

^{*3}Faculty of Health Science and Technology, Kawasaki University of Medical Welfare

^{*4}Faculty of Medical Sciences, Kyushu University

Abstract Objectives: There are several recommendations on the prevention of hypothermia during snow shoveling. However, there seemed to be insufficient evidence supporting these recommendations because they are not based on data from actual snow shoveling research. The purpose of this study was to investigate changes in brain temperature (tympanic temperature) and visceral temperature (rectal temperature) during snow shoveling among healthy young males.

Methods: Eight healthy young males (age, 23.6 ± 2.4 years; weight, 69.7 ± 6.1 kg; height, 172.8 ± 7.3 cm) performed snow shoveling with an ordinary-size shovel for 15 min at their own pace in a rural snowfall area in December, 2009. Rectal temperature (Tre) and tympanic temperature (Tty) were measured 5 times (at rest, 5th (Ex5), 10th (Ex10), and 15th (Ex15) minute of snow shoveling; and 5th (Rec5) minute of recovery phase). The room temperature was $18.6 \pm 0.7^\circ\text{C}$ and the atmospheric temperature was $3.8 \pm 2.6^\circ\text{C}$.

Results: Tre continued to increase from at rest to Ex15. Tre at Ex15 ($37.7 \pm 0.3^\circ\text{C}$) was significantly higher ($p < 0.05$) than that at rest ($37.2 \pm 0.3^\circ\text{C}$). Tty at rest ($36.7 \pm 0.2^\circ\text{C}$) and Tty at Ex5 ($36.6 \pm 0.3^\circ\text{C}$) decreased significantly ($p < 0.05$) at Ex10 ($36.2 \pm 0.6^\circ\text{C}$). A significant negative correlation between changes in Tre and Tty were observed during snow shoveling ($r = -0.49$, $p < 0.05$).

Conclusion: Discrepancy between changes in brain temperature (tympanic temperature) and visceral temperature (rectal temperature) should be taken into consideration in the prevention of disease development during snow shoveling in a cold environment.

Key words: snow shoveling (除雪作業), rectal temperature (直腸温), tympanic temperature (鼓膜温)

1. 緒 言

寒冷で積雪する環境では、「寒冷」や「積雪」が人々の

健康や生活に様々なかたちで影響を及ぼすことが知られている(1-3)。特に、積雪による人的被害は深刻な問題で、平成18年度では2,288件もの死亡・負傷事故が起きている(4)。死亡者の大多数が65歳以上の高齢者であり、ほとんどが除雪作業中の事故と報告されている(4)。中でも、近年では除雪作業時における疾患発症が増加しており、特に心筋梗塞や脳梗塞等の循環器系疾患の発症が顕在化している(4)。

雪国、特に本邦の豪雪地帯対策特別措置法に基づき指

受付2011年1月24日, 受理2011年3月31日
Reprint requests to: Yusuke TAKAGI
Kawasaki University of Medical Welfare, 288 Matsushima, Kurashiki-shi, Okayama 701-0193, Japan
TEL: +81(86)462-1111
E-mail: w8510002@kwmw.jp

定される豪雪地帯 (5) では、除雪作業は積雪期の生活に必要な不可欠である。しかしながら、除雪作業は身体的な負担が大きい作業である (6-11)。即ち、除雪作業時では、心筋の酸素摂取量が増加すること (6, 8) や、呼吸を止めて力むことによって胸腔内圧と腹腔内圧が上昇し、心臓への負担が増大することで昇圧反応が生じること (6-8) 等が、これまでの報告から明らかになっている。一方、除雪作業では運動強度の増加に伴い熱産生が増大し、深部体温が上昇するが、作業を止めると運動強度の低下とともに熱産生は低下し、代わって熱放散が亢進する (11)。温暖な室内の環境から寒冷環境の外へ出て除雪作業を行う際、温度差の影響に伴う生体への寒冷ストレスは大きいものと考えられる。そのため、除雪作業を行う際の体温管理は重要であるが (9-11)、除雪作業時における生体の温熱反応に関する研究は、著者ら (10, 11) の報告の他にない。国土交通省のガイドライン (4) においても、除雪作業時の体温管理の重要性を示しているが、フィールド研究から得られた科学的な根拠に基づく指針ではない。

著者ら (10, 11) は、鼓膜温を深部体温の評価指標として行った除雪作業時の体温変化に関する調査において、脳温指標 (鼓膜温) と内臓温指標 (直腸温) および脳温と心理的な温熱反応の変化に乖離が生じる可能性を示唆した。このことは、屋内から屋外へ除雪作業のために出た際の知らぬ間の低体温症等の寒冷障害の予防に寄与する知見と考えられたが、内臓温の指標となる直腸温の測定が困難のため行っておらず、除雪作業時における体温管理に関する指針を提示するためには、課題が残された。

寒冷環境下で行われる除雪作業では、寒冷と運動による急性なストレスを同時に呈することになり、低体温症や凍傷、血管系への負荷由来の虚血性心疾患や脳血管疾患といった循環器系疾患を惹起し得ると考えられる (4, 6-8, 10, 11)。急性な寒冷ストレスに伴う体温中枢の機能低下による体温低下や血管系への負荷を予防するためには、除雪作業時の脳温の保温は重要と考えられる。著者らは、屋内から屋外へ出て除雪作業を行う際、脳温指標の鼓膜温が低下することを報告した (10, 11)。このことから、除雪作業時の脳温と内臓温における温度変化の関連性について検討する必要がある。

そこで本研究の目的は、除雪作業時における脳温と内臓温の変化を検討することとした。

II. 方 法

1. 対象・期間・場所

心・腎疾患等の既往歴がない健康な成人男性 8 名 (年齢: 23.6 ± 2.4 歳, 体重: 70.4 ± 8.4 kg, 身長: 175.4 ± 5.5 cm) を対象とした。対象には、予め調査に関する説明を行い、書面にて同意を得た。調査は 2009 年 12 月に、S 県 I 町役場の近隣に位置する赤名環境改善センターおよび山村広場にて実施した。これらの場所は、対象者が

調査器具を装着する際のプライバシーの厳守および除雪作業時の緊急時の迅速な対応が可能な条件を満たしていた。また、除雪作業は、体温測定を熟知する看護師および保健体育科教員の監視の下で行った。尚、本調査は広島大学大学院保健学研究科看護学研究倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 調査内容

調査内容は、屋内 (安静) から屋外へ出て日常無理なく行える速さで、ショベルを使用して 15 分間行う除雪作業とした。調査当日は降雪していたため、対象の安全と雪国の実生活を考慮し、帽子 (アクリル+ポリエステル) を着用させた。服装は、綿製の下着、半袖シャツ (1 枚)、長袖シャツ (1 枚)、セーター、ジャケットでこの地域の除雪作業に適した服装を町役場の助言を受け、指定した。また、服装の条件は、衣服の保温性を評価する clo 値によって統制し、対象者全員の服装のスコアを 2clo に統一した。

3. 調査項目

調査項目は、気象条件の指標として、調査当日の屋内外での気温・湿度 (WBGT-203A: 京都電子工業社製) および雪の密度 (角型サンプラー: クライメット・エンジニアリング社製) を計測した。作業条件の指標 (11) には、1 分間あたりの投雪量として作業成績 (kg/min)、一回投雪量 (kg/time) および 1 分間あたりの投雪頻度 (times/min) を評価した。

除雪作業の作業強度の指標には、心拍数、主観的運動強度 (RPE: Rating of Perceived Exertion)、血圧を採用した。心拍数は心拍計 (POLAR RS400; POLAR 社製) を、血圧は手首式自動血圧計 (CH-602B; CITIZEN 社製) を用いて計測した。手首式の自動血圧計による測定では、手首の位置によって重力による血液の圧力差が生じるため、心臓と血圧測定装置の装着部位の垂直位置関係を考慮すると、上腕で測定する方法の方が正確であり、誤差が少ない。しかしながら、本研究のように寒冷環境下の除雪作業の現場で血圧を測定する場合は、防寒性が確保された服を捲って測定することは極めて困難であり、また、そのような状態を準備するための時間経過が、作業や他の測定値に影響を及ぼすことになる。これらを検討した結果、本研究では手首式血圧計を採用することとし、測定は手首を心臓の高さに合わせて行った。RPE は Borg の指標 (12) を採用した。

深部体温の指標には、直腸温および鼓膜温を採用した。直腸温の計測には直腸温度計 (Mon-a-therm 4070; Mallinckrodt Medicine 社製) を、鼓膜温は赤外線式鼓膜温度計 (Genius; Argyle 社製) を用いた。直腸温測定の際のプロープにはプロープカバーを装着し、潤滑剤を塗布して肛門から 10 cm 以上挿入させた。これらの行為は、対象のプライバシーを完全に遵守できる個室にて行った。また、鼓膜温については、対象の安全を確保でき、且つ利便性に富み、非侵襲的測定が可能な赤外線式鼓膜温 (以

後、鼓膜温)を指標とした。鼓膜温測定は2回行い、最高値を採用した。心理的温熱反応の指標には、主観的温度感覚を評価した。主観的温度感覚の評価には、主観的温度感覚スケールを使用した(13)。主観的温度感覚スケールは、+13から-3までのスケールで示された寒冷環境で用いられる主観的温度感覚尺度である。+13が“寒さの限界”, 0が“普通”, そして-3へ変化するにつれて“温かい”を示している。

諸測定は、安静時(Rest), 作業5分(Ex5)・10分(Ex10)・15分経過時(Ex15)および除雪後5分経過時(Rec5)に立位安静状態にて行った。

4. 統計処理

測定によって得られたデータは、平均値±標準偏差で示した。諸項目の経時変化の比較には、一元配置分散分析を実施した後、多重比較(Bonferroni)を行った。主観的温度感覚に関しては中央値で示し、Wilcoxonの符号付順位検定を行った。除雪作業中の鼓膜温と直腸温の変化の関係性については、Pearsonの相関係数による単相関分析を行った。

III. 結 果

1. 気象条件

屋内の温度は $18.6 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 、同湿度は $44.1 \pm 14.5\%$ であり、屋外の気温は $3.8 \pm 2.6^{\circ}\text{C}$ 、同湿度は $47.5 \pm 5.6\%$ であった。雪の密度は $0.47 \pm 0.04 \text{ g/cm}^3$ であった。

2. 除雪の作業条件

作業成績は $57.2 \pm 20.5 \text{ kg/min}$ 、一回投雪量は $4.5 \pm 1.3 \text{ kg/time}$ 、投雪頻度は $13 \pm 3 \text{ times/min}$ であった。

3. 除雪の作業強度

図1に除雪作業時の心拍数およびRPEの変化について示した。Ex5 ($146 \pm 17 \text{ bpm}$), Ex10 ($151 \pm 13 \text{ bpm}$), Ex15 ($145 \pm 16 \text{ bpm}$)の心拍数は、Rest ($71 \pm 6 \text{ bpm}$)およびRec5 ($105 \pm 14 \text{ bpm}$)に比して有意に高値を示した($p < 0.05$)。RPEも同様な変化を示し、Ex5 (13 ± 0), Ex10 (15 ± 2), Ex15 (15 ± 2)は、Rest (6 ± 0)およびRec5 (12 ± 2)に比して有意に高値を示した($p < 0.05$)。対象者の最大心拍数は $157 \pm 12 \text{ bpm}$ であった。

図2に除雪作業時の収縮期血圧(Systolic Blood Pressure: SBP)および拡張期血圧(Diastolic Blood Pressure: DBP)の変化について示した。Ex5 ($140 \pm 19 \text{ mmHg}$)およびEx10 ($145 \pm 16 \text{ mmHg}$)のSBPはRest ($123 \pm 17 \text{ mmHg}$)に比して、また、Ex5, Ex10およびEx15 ($136 \pm 13 \text{ mmHg}$)はRec5 ($130 \pm 11 \text{ mmHg}$)に比して有意に高値を示した($p < 0.05$)。DBPでは、Ex5 ($104 \pm 21 \text{ mmHg}$)およびEx10 ($105 \pm 15 \text{ mmHg}$)がRest ($90 \pm 20 \text{ mmHg}$)に比して、Ex5, Ex10およびEx15 ($103 \pm 13 \text{ mmHg}$)はRec5 ($86 \pm 18 \text{ mmHg}$)に比して有意に高値であった($p < 0.05$)。

図1 除雪作業時の心拍数およびRPEの変化

図2 除雪作業時の血圧の変化

図3 除雪作業時の直腸温、鼓膜温および主観的温度感覚の変化
直腸温: Rec5 vs. Rest・Ex5・Ex10・Ex15, Ex15 vs. Rest・Ex5・Ex10, Ex10 vs. Rest・Ex5, $p < 0.05$
主観的温度感覚: Ex15 vs. Ex5・Ex10・Rec5, Ex10 vs. Rec5, $p < 0.05$
鼓膜温: Rest・Ex5 vs. Ex10・Rec5, $p < 0.05$

4. 深部体温・主観的温度感覚の変化

除雪作業時の直腸温、鼓膜温および主観的温度感覚の変化を図3に示した。直腸温はRest ($37.2 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$)からEx5 ($37.2 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$)には変化がみられなかったものの、Ex5からEx10 ($37.4 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$), Ex15 ($37.7 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$), Rec5

図4 除雪作業時の直腸温と鼓膜温の変化の関係

($37.8 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$) と有意に上昇し続けた。Rec5は他の全てに比して、Ex15はEx10・Ex5・Restに比して、Ex10はEx5およびRestに比して有意に高値を示した ($p < 0.05$)。一方、除雪作業中の鼓膜温は、Rest ($36.7 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$) から低下した。Ex10 ($36.2 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$) および Rec5 ($36.1 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$) の鼓膜温はRestおよびEx5 ($36.6 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$) に比して有意に低値を示した ($p < 0.05$)。暖房環境のRestの主観的温度感覚は-2で、除雪開始後のEx5 (-0.5) に“冷たい”の方へ変化し、その後Ex10 (-1.5), Ex15 (-2) と、“温かい”へ変化した。Ex15とEx5・Ex10および作業後のRec5 (0) において、また、Ex10とRec5において有意差が認められ、Rec5では寒さ指数が有意に増加した ($p < 0.05$)。

5. 除雪作業時の直腸温と鼓膜温の変化の関係

図4に除雪作業時の直腸温と鼓膜温の変化の関係を示した。直腸温と鼓膜温の変化に中等度の水準で有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.49$, $p < 0.05$)。

IV. 考 察

1. 本研究の除雪作業について

除雪作業時の生理的負荷について検討した研究は、主に東北以北の一部の地域で行われてきた。青森県で行った山下ら (14) の研究では、健康な若年男性 (平均21歳) の作業成績が $68.0 \pm 21.7 \text{ kg/min}$ 、投雪頻度が $18 \pm 3 \text{ times/min}$ 、一回投雪量が $4.1 \pm 1.5 \text{ kg/time}$ で、中高年男性 (平均49歳) ではそれぞれ $56.0 \pm 14.4 \text{ kg/min}$ ・ $14 \pm 4 \text{ times/min}$ ・ $4.5 \pm 1.6 \text{ kg/time}$ という結果を記録している。北海道で調査した森田ら (15) の報告では、健康な高齢女性 (平均68歳) の作業成績が $69.2 \pm 4.6 \text{ kg/min}$ 、投雪頻度が $14 \pm 1 \text{ times/min}$ 、一回投雪量では $4.9 \pm 0.1 \text{ kg/time}$ であった。いずれの除雪作業も、日常無理なく実施できる速さで行われた。諸家ら (14, 15) の報告との作業条件の差は、除雪経験年数による動作の習熟度の違いによる影響が考えられたが (6)、先行研究 (7, 8, 14, 15) 同様に、生

理的な負荷指標が高値を示しており、本研究の除雪作業においても高い作業負荷であったといえる。

雪の質についても考慮する必要がある。本研究を実施したS県I町が位置する中国地方の豪雪地帯は、湿り雪の分布が多い地域であることが考えられている (16)。本研究で計測した雪の密度は 0.47 g/cm^3 であり、粗目雪と判断され (17)、重い雪であったことがわかる。このことから、重い雪という地域特有の自然条件が本研究の作業条件の結果に影響を及ぼしたことも十分に考えられる。除雪作業中の作業強度の増大や除雪の作業様式、雪の質およびそれに影響する投雪頻度を考慮すると、本研究で行った除雪作業は、比較的に重い雪に対して上肢を頻繁に動かしてショベリングした除雪作業であったといえることができる。

2. 除雪作業時の深部体温・主観的温度感覚の変化について

1) 脳温指標としての鼓膜温測定

Benzinger (18) の報告以降、鼓膜温は脳内の体温調節中枢の視床下部へ流入する内頸動脈の枝によって灌流されることから、脳温を反映しているとされている。しかしながら、BrinnelとCabanac (19) は、鼓膜の前下方1/4の限局した部分で正しく測定されなかった場合、内頸動脈血温と同時に外頸動脈血温、さらには静脈血温からも影響を受けることを指摘している。また、Marcus (20) は、頭部の加温、冷却によって外耳道や鼓膜に分布している外頸動脈に由来する動脈枝や静脈の血液温度が変化し、そのことが鼓膜温に影響を及ぼすことを指摘しており、測定の精度やその環境によって、鼓膜温が脳温と近似しないことについて議論されている。このようなことから、本来なら本研究においても接触型プローブを用いた鼓膜温度計を使用して測定すべきであったが、実際の除雪作業現場における接触型鼓膜温度計の測定は危険と判断し、実施しなかった。本研究では、測定が簡便かつ安全・迅速で、非侵襲的な測定が可能な赤外線式鼓膜温度計を採用した。

赤外線式鼓膜温度計は、先行研究 (19-21) が示した脳温指標となる有用な鼓膜温の測定法に対して、外耳道の形態や鼓膜の前下方に近い部分の測定を行えた確証がもてない点等、測定値に疑問を残すところが多い。しかしながら、本研究では、坂田ら (22) が明らかにした法を採用し、測定の際は外耳道をできるだけまっすぐにするよう耳介を後上方にひいて、プローブの先端部をプローブで耳管が完全に塞がれる状態まで外耳道に挿入して測定を行ったため、BrinnelとCabanac (19) が示した部分に近い温度の測定が行えた可能性が高いと考えられた。加えて、測定回数を複数回連続的に測定し、得られた数値の中から最高値を採用した (23)。

また、鼓膜温度計の使用許容温度は $15.6^{\circ}\text{C} \sim 35.0^{\circ}\text{C}$ であり、本研究の除雪現場はその範囲外の気温であった。そのため、測定器具の機能を考慮し、除雪作業現場に併

設する屋内施設の中にいる検者が、屋外で除雪作業をしている対象者の横にいる検者へ鼓膜温度計を渡して行った。測定の際、一時的に範囲外の温度への曝露となったが、測定時以外は保管環境温度 ($-20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$) 内の屋内 (暖房環境: $18.6 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$) で保管しており、寒冷曝露による影響は少ないものと考えられた。三谷ら (24) も外気の影響を受けることから、保管場所に注意する必要があることを示しており、保管環境温度が保たれている場合は正確な測定値を得られると検討している。また、本研究で採用した測定器具の保管方法や屋内から屋外への受け渡しによる方法は、先行研究 (10, 11) で既に行われている。

以上のことから、本研究で行った鼓膜温測定は、接触型鼓膜温度計を用いた測定ではなかった分、疑問は残るものの、実際の除雪作業の現場での安全を優先して赤外線式鼓膜温度計による測定を行い、測定に関する諸問題はこれまでに検討されてきた方法 (10, 11, 22-25) に準じたものを採用し、測定した鼓膜温を脳温指標と評価するための正確な測定値を得られるよう努めた。

2) 内臓温指標としての直腸温測定

直腸温測定は、生体の内臓温 (腹部臓器や骨盤内臓器) の温度を反映するとされ、特に、運動現場では多くの研究によって深部体温指標として支持されている (26, 27)。一方で、体温の急激な温度変化に対して鈍感であり、その要因として、内容物の化学反応熱によるものとする考え (28) や、生体に温熱負荷が加わる際、皮膚血流量が増加するのに対して内臓血流量は減少するので、直腸温測定部位では血液による熱移動速度が遅くなることに起因して、温度の変化速度が遅くなることが報告されており、直腸温が内臓温を良好に反映しないということも議論されている (26, 27, 29-31)。また、測定手技の問題に関して、肛門から 6 cm 以上深いところで測定しなければ、浅い部位の温度は環境や循環条件に左右される外層部に属してしまうこと (32)、体温計の先端が糞塊に没入した場合は測定値が誤って低く表示すること (23) も同様に懸念されており、大動脈温を反映する食道温の方が、内臓温として適する見方も考えられる。

しかしながら、本研究では食道温測定による粘膜損傷や穿孔等の危険の回避、除雪作業という動作を考慮し、比較的に非侵襲的測定であり、且つ測定値に安定性がある直腸温を内臓温の指標として評価した。運動時における直腸温の変化は、確かに前述のようなメカニズムから時間遅れが生じる。しかしながら、強度の高い運動 ($65\%\text{max}$ 以上) 時においては、活動筋への血流が多く配分されるため、運動強度の増加に伴い深部体温は上昇し続けるのに対し、皮膚血管拡張は抑制される (27, 33)。これまでの知見 (4, 8) と同様に、本研究の除雪作業も強度の高い身体活動であり、対象者の除雪作業時の運動強度は $80\%\text{max}$ 近くまで達し、除雪作業中の直腸温は直線的に上昇した。また、測定に際して、プローブは肛門から少なくとも 10 cm 以上挿入しており、糞便を済ませて

調査に参加させた。このようなことから、本研究で観察された除雪作業中の直腸温は、これまでの知見 (27, 28, 33) によって明らかにされている理論と一致する変化を示したことから、測定値の信頼性が確保されているものとされ、内臓温の指標として評価し得ると考えた。

3) 深部体温の変化

本研究における除雪作業は、心拍数や RPE、血圧の変化の結果から強度の高い作業であったと考えられ、これまでの研究 (7, 8, 14, 15) に準ずる強度であった。運動中の深部体温の変化は、筋収縮活動に伴う熱産生の増加から、運動強度の増加に伴い上昇することが明らかになっている (33)。除雪作業時の直腸温の上昇は、作業強度の増大に起因するものと考えられた。一方、鼓膜温の変化は、除雪作業開始後低下し、Ex10 および Rec5 では安静時に比して有意な低値であった。鼓膜温の低下は、豪雪地帯の実生活を想定し、暖房環境が整った作業前の安静状態の屋内環境から屋外環境へ出たことによる約 15°C 以上の急性な寒冷ストレスを受けたこと、約 3°C の寒冷環境への曝露が続いたことが要因として挙げられた。また、 10°C の低温環境下の運動時において、食道温が上昇したにも関わらず鼓膜温は低下したことが報告されている (34)。増田 (35) は、この機序について、顔面冷却によって顔面皮膚静脈が冷却され、その静脈血が眼静脈あるいは蝶形頭頂静脈洞を経て海面静脈洞に流入し、それによって冷却された海面静脈洞が、この部を貫通して視床下部へ上行していく内頸動脈血を対向流熱交換によって冷却することによるものと検討している。本研究では、防寒性が確保された服装で除雪作業を行ったが、顔面は寒冷環境へ曝露していた。約 20°C の屋内環境から 3°C の寒冷環境への曝露や降雪条件であったことを考慮すると、対象者の顔面が冷却されたことは十分に考えられる。このことから、除雪作業中の顔面冷却の影響も、安静時に比べ除雪作業中の鼓膜温が低下した一要因として考えられた。直腸温と鼓膜温の変化について、本研究は、その関係性について検証した。その結果、除雪作業中の鼓膜温と直腸温の変化に有意な負の相関関係を認めた。このことは、直腸温と鼓膜温の変化に乖離が生じる可能性を示唆したこれまでの推測による知見 (10, 11) と一致する。

著者らの前報 (10) では、未着帽条件下で本研究と同様なプロトコルの除雪作業を行った。その際の鼓膜温は、除雪作業中、有意に低下した。本研究は前報 (10) と比較して、除雪作業中の平均心拍数は約 30 bpm 程高値であったにも関わらず、鼓膜温は低下した。気流などを加味した気象条件は異なるものの、本研究で未着帽だった場合、鼓膜温は前報と同様あるいはそれ以上の低下を示す変化であったことが推測され、着帽による頭部表面温の保温 (36) が、鼓膜温の過大な低下を抑制し得たと考えられた。作業後における鼓膜温の低下は、 6°C の寒冷環境下の安静時において鼓膜温が下降しつづけたことを認めた先行研究 (11) と同様に、作業後における熱放散による生

理的变化と考えられた。直腸温が上昇し続けたことは、鼓膜温や食道温に比べ、反応時間に遅れが生じることに起因したと考えられた (27)。

4) 主観的温度感覚の変化

主観的温度感覚は除雪作業開始後、急性な寒冷ストレスの影響を受け Ex5 で“冷たい”の方へ変化した。その後の作業中では“温かい”へ変化した。作業後の安静状態では寒さ指数が有意に増加した。主観的温度感覚は、末梢血流量に依存することが明らかになっている (37)。本研究では、皮膚温や皮膚血流量を測定していないが、前述したように上肢を頻繁に動かした作業であったことから、末梢血流量が増加したと推察され、そのことが除雪作業中の主観的温度感覚の変化に影響したと考えられた。

以上から、顔面が外気に曝露している場合、寒冷環境下における除雪作業時において鼓膜温と直腸温の変化に乖離が生じることが考えられた。前述したように、鼓膜温は脳内の体温調節中枢の視床下部へ流入する内頸動脈の枝によって灌流されていることから、脳温指標として評価されている (18)。本研究の結果から、除雪作業時において脳温指標と内臓温指標の変化に乖離が生じたことが示唆された。

脳温は脳への血流量、脳の代謝率、および脳へ流入する血液の温度等の要因によって変動する (38)。脳の温度変化は中枢神経系の調節中枢としての働きに影響を与えることがあり、神経の局所の温度低下に伴い神経の機能は低下する (32)。さらに、中枢神経の機能が低下した状態で寒冷に曝露すると、低体温に陥りやすいとされる (39)。一方で、核心部の温度が上昇すると代謝量が増加する。本研究や先行研究 (10, 11) でも観察されたように、除雪作業を行っている際の主観的な温度感覚は“温かい”へ変化する。これらが同時に起こり得る場合、体温調節中枢から生体内への命令と生体内部で代謝を亢進させる号令に乖離が生じることを示唆し、知らぬ間の意識の混濁等の意識障害や判断能力の低下、低体温の亢進に影響することが推察される。また、脳温の低下によって脳血流量や脳代謝が低下し (38)、脳血管障害を呈する可能性も考えられる。本研究は、除雪作業時の直腸温の変化を測定し、鼓膜温と直腸温の変化に有意な負の相関関係を認めたことから、推論として報告されていた脳温指標と内臓温指標の変化に乖離が生じ得ることを示唆する。このことは、屋内から屋外へ出て除雪作業を行う際の頭部への防寒の徹底、特に顔面の冷却予防に寄与する知見になると考えられた。除雪作業後に休息を行う際は屋外で安静をとるのではなく、体内の温度分布を整えるために寒冷曝露を避け、その都度屋内へ戻り休息することも重要であろう。

今後、中高年者においても同様な調査を実施し、加齢による機能低下を考慮した除雪作業時の体温管理に関する指針提供を目指すことが期待される。

V. 結 語

屋内から屋外へ出て除雪作業を行った際、直腸温と鼓膜温の変化に負の相関関係を認めた。除雪作業中の脳温指標と内臓温指標の変化に乖離が生じ得ることが示唆された。屋内環境から屋外へ出て除雪作業を行う際の頭部への防寒の徹底、特に顔面の冷却の予防を促す知見として期待される。

謝 辞

本研究に御協力いただきました対象者の皆様、飯南町職員の皆様、広島大学の山崎昌廣教授、北海道医療大学の森田勲教授、日本貿易振興機構の安藤裕二氏に深く感謝し心から御礼申し上げます。

文 献

- (1) Glass RI, Zack MM. Increase in deaths from ischaemic heart-disease after blizzards. *Lancet*. 1979;1:485-487.
- (2) Rogot E, Padgett SJ. Associations of coronary and stroke mortality with temperature and snowfall in selected areas of the united states, 1962-1966. *Am J Epidemiol*. 1976;103:565-575.
- (3) 伊藤真次. 適応のしくみ—寒さの生理学—. 北海道: 北海道大学図書刊行会, 1987.
- (4) 国土交通省. 豪雪地帯における安心安全な地域づくりに関する調査. 2007.
- (5) 全国積雪寒冷地帯振興協議会. 豪雪地帯指定図. <http://www.sekkankyo.org/zenkoku.htm> 2011/01/21
- (6) 須田 力. 雪国の生活と身体活動. 北海道: 北海道大学出版会, 2006:59-94.
- (7) 森田 勲, 山口明彦, 吉成 哲, 林 昌宏, 須田 力. 青年男子のショベル除雪時の呼吸循環応答および作業成績. *雪氷* 2006;68:3-13.
- (8) Franklin BA, Hogan P, Bonzheim K, Bakalyar D, Terrien E, Gordon S, Timmis GC. Cardiac demands of heavy snow shoveling. *JAMA*. 1995;273:880-882.
- (9) 国土交通省北海道開発局. 雪かきのポイント. 2008.
- (10) 高木祐介, 瀬戸香菜美, 和久利久, 小野寺昇. ショベル除雪時における鼓膜温, 主観的温度感覚および心拍数の変化について. *登山医学* 2009;29:183-186.
- (11) 高木祐介, 瀬戸香菜美, 和久利久, 小野寺昇. 人力除雪作業時の作業条件と作業中および作業後の寒冷曝露における生理的・心理的温熱反応の変化について—中国地方の豪雪地帯における調査結果—. *保健の科学* 2010;52:425-429.
- (12) Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med*. 1970;2:92-98.
- (13) Tanaka M, Yamazaki S, Ohnaka T, Harimura Y, Tochiwara Y, Matsui J, Yoshida K. Effect of feet cooling on pain, thermal sensation and cardiovascular responses. *J Sports Med*. 1985;25:32-39.
- (14) 山下弘二, 三浦雅史, 李相潤, 吉岡利忠. 除雪の作業条件と呼吸循環応答. *理学療法* 2003;30:273-279.

- (15) 森田 勲, 山口明彦, 須田 力. 豪雪地の女性高齢者における人力除雪作業の生理学的応答. 日本雪工学会誌 2006;22:3-13.
- (16) 石坂雅昭. 日本の冬の気候と積雪の地域性. 雪氷 1996; 58:329-338.
- (17) 日本建設機械化協会. 新編防雪工学ハンドブック. 東京: 森北出版, 1988.
- (18) Benjinger TH. Heat regulation: homeostasis of central temperature in man. *Physiol Rev.* 1969;49:671-759.
- (19) Brinnet H, Cabanac M. Tympanic temperature is a core temperature in humans. *J Therm Biol.* 1989;14:47-53.
- (20) Marcus P. Some effects of cooling and heating areas of the head neck on body temperature measurement at the ear. *Aerospace Med.* 1973;44:397-402.
- (21) 内野欽司. ヒト鼓膜温の生理学的意義. 日生理誌 1989; 51:387-404.
- (22) 坂田義行, 渡辺達生, 中森知毅. 耳式体温計による鼓膜温測定手技の検討. 新薬と臨床 1994;43:2011-2018.
- (23) 東澤知輝. スポーツ環境における体温・環境温の測定と体温管理のポイント. 臨スポーツ医 1999;16:1478-1483.
- (24) 三谷浩枝, 山口陽恵, 若林紀子, 太田深雪, 平田雅子. 体温測定に関する基礎的研究(第3報) —環境の変化における測定値の違い—. 神戸市看護大学短期大学部紀要 2002;21:57-63.
- (25) 石垣 享, 藤城仁音, 辻田純三, 圓 吉夫, 大和 眞, 中野昭一, 堀 清記. アメリカンフットボール練習時のヘルメット温度と鼓膜温度の関係. 体力科学 2001; 50:333-338.
- (26) 久保田健一. 体温モニタの種類と原理. 医科器械学 2007;77:30-33.
- (27) 近藤徳彦. 運動と体温変化. 平田耕造, 井上芳光, 近藤徳彦編, 体温—運動時の体温調節システムとそれを修飾する要因—. 東京: NAP, 2002:54-88.
- (28) 増田 允. 運動と体温. 慈恵医大誌 1975;90:1-15.
- (29) 奥秋 晟. 集中治療マニュアル(体温管理) 第一版. 東京: 医学書院, 1983:152-153.
- (30) Cranston WI. Oral, rectal, and oesophageal temperatures and some factors affecting them in man. *J Physiol.* 1954;3: 163-164.
- (31) 平田耕造. 生活慣用生理学における深部体温としての食道温・鼓膜温と直腸温の関係. 神戸女子大学家政学部紀要 1996;29:1-11.
- (32) 入来正躬. 体温生理学テキスト. 東京: 文光堂, 2003: 13-95.
- (33) 春日規克. 運動時の体温調節. 春日規克, 竹倉宏明編, 運動生理学の基礎と発展. 東京: フリースペース, 2010:167-175.
- (34) Caputa M, Cabanac M. Muscular work as thermal behavior in humans. *J Appl Physiol.* 1980;48:1020-1023.
- (35) 増田 允. 寒冷ふるえ. 中山昭雄, 入来正躬編, 新生理科学大系 22 エネルギー代謝・体温調節の生理学. 東京: 医学書院, 1987:122-130.
- (36) 緑川知子, 登倉尋實. 寒冷環境下における帽子着用が深部体温に与える影響. 日家政会誌 1994;45:323-330.
- (37) Hensel H, Zotterman Y. The effect of menthol on the thermoreceptors. *Acta Physiol Scand.* 1951;24:27-34.
- (38) 入来正躬. 睡眠. 中山昭雄, 入来正躬編, 新生理科学大系 22 エネルギー代謝・体温調節の生理学. 東京: 医学書院, 1987:317-326.
- (39) 北本 清. からだの異常 病態生理学I. 東京: 日本看護協会出版会, 1999:148.