

# 上肢筋力増加によるノルディックウォーキング中の心拍数-血中乳酸濃度関係の生理的適応について

—運動処方への安全な運用を目的として—

富田エミ<sup>1)</sup>、辻川比呂斗<sup>2,3)</sup>、家崎貴文<sup>3)</sup>、渡邊マキノ<sup>3)</sup>、柿木 亮<sup>3)</sup>、岡田隆夫<sup>1,3)</sup>

**要旨** 【背景】通常歩行(W)と比較して、ノルディックウォーキング(NW)はエネルギー消費の増大や呼吸循環器系への刺激増加が期待される一方で、血中乳酸濃度(La: blood lactate accumulation)動態については報告が一致しない(富岡ら, 2008)。したがって、運動処方に用いる場合、より詳細に検討する必要がある。本研究は身体特性や筋力がNW中のLa動態に及ぼす影響について検討した。【方法】健康な女性28名を対象に身長、体重、四肢の筋力を測定後、WとNWの歩行測定を実施した。歩行測定ではトレッドミル(5%傾斜)を用い、速度を60m/minから10m/minずつ漸増させLaが4mmol/Lに達する血中乳酸蓄積開始点(OBLA: onset of blood lactate accumulation)まで実施した。心拍数(HR)、La、酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )および主観的運動強度(RPE)、歩数を計測し各歩行速度のLaから乳酸閾値(LT)とOBLA時のHRと速度を算出した。身体プロフィール値の高値群(High群)と低値群(Low群)に分け両群間のLT、OBLA強度について比較した。その後、Low群の被験者に筋力トレーニング(TR)を実施し、再度測定を行った。【結果および考察】HRでは肘伸展筋力(体重比)の項目のみOBLA強度において、High群はLow群と比較し高値を示した( $p < 0.05$ )。NW中のHR-La関係曲線においてHigh群ではWと比較して右方シフトを示したが、Low群では左方へのシフトを示し、High群よりも低いHRでOBLA強度に達した。そこで、Low群に属する5名の被験者に対して上肢の筋力トレーニングを実施し筋力を増加させた結果、NW中のOBLA時のHRは $162.0 \pm 3.0$ bpmから $167.2 \pm 2.7$ bpmに有意に増加し( $p < 0.05$ )、左方シフトは改善された。【結論】肘伸展筋力(体重比)の低いタイプにおいて、NW中の速度増加に伴いLa増大が促進された。また、TRによる上肢筋力の増強は、HR-La関係曲線の改善を促し、NW中の運動強度に対する適応を促したと言える。すなわち、上肢筋力(体重比)はNW中の運動強度に影響を与える因子であり、運動処方としてNWを実施する際に、対象者の上肢筋力および体重を十分に考慮する必要性が示唆された。

## Adaptive changes in the heart rate-blood lactate accumulation relationship by increased upper limb muscle force during Nordic walking

1) 順天堂大学大学院医学研究科器官・細胞生理学

2) 順天堂大学保健看護学部

3) 順天堂大学医学部生理学第二

Emi Tomita<sup>1)</sup>, Hiroto Tsujikawa<sup>2)</sup>, Takafumi Iesaki<sup>3)</sup>, Makino Watanabe<sup>3)</sup>,  
Ryo Kakigi<sup>3)</sup>, Takao Okada<sup>1-3)</sup>

1) Juntendo Graduate School of Medicine, Department of Organ and Cell Physiology

2) Juntendo University, Faculty of Health Sciences and Nursing

3) Juntendo University, Faculty of Medicine, Department of Physiology II

**Abstract** Nordic walking (NW), in comparison with normal walking (W), is thought to increase stimulation of respiratory and circulatory systems and increase energy consumption, while blood lactate accumulation (La) kinetics largely depend on individual differences. Thus, particular care should be taken when prescribing NW for exercise. The aim of this study was to examine the effects of personal body profiles on various physiological responses, including La, during NW. Twenty-eight young female subjects performed treadmill walk tests (incline 5%) after the measurement of body height, weight, and muscle strength. Heart rate (HR), oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ ), and La were measured during the walk tests. HR at La of 4mmol/L ( $HR_{OBLA}$ ) was calculated. Subjects were divided to High group or Low group according to their body profiles to compare  $HR_{OBLA}$  and walk speeds at OBLA ( $V_{OBLA}$ ).  $HR_{OBLA}$  was significantly ( $p < 0.05$ ) higher in the elbow extension strength (elbow EX) - High group compared to the Low group. Elbow EX High group reached higher HR at OBLA than the Low group. In the next protocol, five subjects of elbow EX- Low group received strength training to the upper limbs for one month. In these subjects,  $HR_{OBLA}$  during NW increased significantly from  $162.0 \pm 3.0$  bpm to  $167.2 \pm 2.7$  bpm following training, indicating that elbow EX is an important factor for determining NW exercise intensity. Overall, these data suggest that arm strength should be considered when prescribing NW as an exercise.

●Keywords : Nordic walking, exercise intensity, heart rate, blood lactate accumulation, muscle strength

## 緒言

健康増進のための運動種目は多岐にわたるが、その中でも歩行は「いつでも、どこでも、だれでも」行える運動として定着しており、日本では人口の約3分の1が健康増進のために歩行を行っているとの報告もある<sup>1)</sup>。1997年以降、健康運動としてノルディックウォーキング (NW) が世界中に急速に普及し始め、日本においても徐々に実施人口が増えつつある<sup>2)</sup>。NWの発祥はフィンランドで、クロスカントリースキーの夏季トレーニングとして行われていたが、一般市民向けの運動として行われるようになった。自然な歩行動作であ

りながら、2本のポールを用いて歩く直立四足歩行と言え、通常のウォーキング (W) と比較してエネルギー代謝の増大や呼吸循環器系への刺激など、様々な効果をもたらすとして期待されている<sup>3-5)</sup>。

NWの効果として、持久力向上、脂肪燃焼、メタボリックシンドロームの改善、上肢筋力の向上<sup>6)</sup>、同一速度における高い心拍数 (HR) や酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ )<sup>7,8)</sup>、上半身の筋活動の増加などがあり、同一速度における単位時間当たりのエネルギー代謝を増加させる他、歩幅の増大、至適歩行速度の増加<sup>9)</sup> など全身運動として多くのメリットが存在する。また、上肢による推進力増加に伴う下肢筋活動の低下<sup>10)</sup>、変形性膝関節症の

疼痛軽減<sup>11)</sup>、など下肢への力学的負担の減少が報告されている一方で、下肢への負担は軽減せず衝撃が増大するという報告もある<sup>12-14)</sup>ことから、健康増進のためにNWを用いた運動処方を行うためにも基礎的データの積み重ねが必要である。

運動処方、強度、時間、頻度、種目を個人に合わせて実施される必要性があり、運動強度としてHRや $\dot{V}O_2$ がその指標としてよく用いられる。運動中の血中乳酸濃度 (La: blood lactate accumulation) は運動時の代謝応答を反映するものであり、NW中のLa動態についての報告もいくつかある<sup>15-17)</sup>。Schifferら<sup>18)</sup>は中高年を対象にW、NW、ジョギングの生理反応を比較した結果、NWはWに比べHRや $\dot{V}O_2$ の増加とともにLaが高値を示すことを報告している。

一方で、辻川ら<sup>19)</sup>は屋外NW歩行中のLaについて被験者ごとのLa動態をWと比較した結果、同一歩行速度におけるHRはNWではWよりも増加し循環器への負荷とエネルギー消費が増加したにも関わらず、乳酸蓄積開始点 (OBLA: onset of blood lactate accumulation) 以下の低強度において、HRに対するLaはWよりも低値を示すことを報告した。しかも、La動態は被験者を個人別に観察すると違いが生じることから、個人ごとの筋力などの影響も考慮した検討が必要であると述べている。また、富岡ら<sup>20)</sup>はその総説の中で、NWはWに比べLaが高値を示す報告と低値を示す報告が見られ、「結論を見出すことは時期尚早ではなかろうか」としており、未だ見解が統一されていない。このようにNW中のLa動態は、 $\dot{V}O_2$ 、HR、主観的運動強度 (RPE: Rate of perceived exertion) とは異なり、一貫した結果が得られていない。

NWはWやランニングと異なり下肢のみの運動に加えポールを用いて地面を上部で押すことにより推進力を得ながら前進する歩行形態であるが、これまでの先行研究では対象者の形態的特性や筋力 (以下: 身体プロフィール) を含めたNW中の相対的運動強度についての検討がなされていない。したがって、NWを健康増進の目的として運動処方に用いる場合、Wと区別してNWの運動強度と身体プロフィールの関係を明ら

かにし、個人差を考慮する必要があると考えられる。本研究ではNW中の運動強度に及ぼす影響を身体プロフィールの面から検討した。また、下肢筋力は歩行能力に影響を及ぼす<sup>21-23)</sup>ことから、上肢筋力の向上がNW時の歩行能力も高くなると仮説を立て、上肢筋力トレーニングがNW中の運動強度に及ぼす影響について検討した。

## 方法

### 実験1 (身体プロフィールが歩行中のLa動態に及ぼす影響)

#### 1. 対象者

対象者は、18歳以上の健康な女子大学生28名 (18.4 ± 0.1歳) であり、対象者の身長、体重およびBMIはそれぞれ158.5 ± 1.0cm、52.8 ± 1.3kg、および21.0 ± 0.4kg/m<sup>2</sup>であった。すべての対象者は、週に数回レクリエーションなどの活動を行うことはあったが、NWの経験は有していなかった。すべての対象者には、研究の目的、方法および危険性についての説明を文書および口頭にて行い、研究に参加することへの同意を書面により得た。なお、本研究は順天堂大学研究等倫理委員会の承認を得て実施した。

#### 2. 身体組成および最大筋力

実験に先立ち、被験者の身体組成および最大筋力を測定した。身体組成はMC-180 (TANITA社製) を用いて測定した。左右の肘および膝関節の屈曲および伸展時の等尺性最大筋力は、ハンドダイナモメーター ( $\mu$ -F100、アニマ社製) を用いて30秒以上の休息を挟み3回ずつ測定した。筋力測定時の関節角度は直角とし、最大筋力発揮時に動かないよう指示した。左右の最大値を平均化し、筋力値を体重で除した筋力値 (体重比; kgf/kg) として示した。

#### 3. 実験1プロトコル

各被験者には、事前にトレッドミル上および平地においてWおよびNWの歩行技術の習得程度に合わせて実験プロトコルに慣れる期間 (1日~2週間) を設けた。なお、NWでは国際ノルディクウォーキング連盟の基準表に従って、身長に0.68を乗じた長さのポールを使

用し、ボールを地面についた時に肘がほぼ直角になるよう調整した。各被験者には実験開始の24時間前からのアルコールおよびカフェインの摂取、高強度運動および実験開始の2時間以内の食事を避けるよう指示した。

被験者はウォームアップ後、10分間の安静をとり簡易型乳酸測定器(Lactate SCOUT、EKF DIAGNOSTIC社製)を用いてLaを測定した。また、心拍計(RS400、Polar社製)および携帯型呼気ガス分析装置(エアソニックAT-1100、アニマ社製)を装着し、座位姿勢のまま3分間 $\dot{V}O_2$ を測定し、各測定のベースラインとした。その後、被験者はトレッドミル上(5%傾斜)に移動し、WおよびNWの漸増負荷試験を受けた。初期速度は、60m/minとし、1段階3分で10m/minずつ速度を漸増させた。各段階の間には3分間の休息を設け、Laの測定を行った。運動中の被験者のLaが4mmol/L(OBLA)以上となったところで運動を終了した。 $\dot{V}O_2$ とHRは、各段階の終了前30秒間の平均値を算出し、同時点のRPEを記録した。歩数は、各段階において30秒間計測し、1分間値として算出した(Figure 1-A)。

WおよびNWの漸増負荷試験は、順序効果を相殺するためにクロスオーバー比較試験として配置した。なお、運動の急性的影響を除外するためWとNWの負荷試験は最低2日以上の間隔を空けて実施した(Figure 1-B)。

#### 4. 乳酸閾値(LT) および

##### 乳酸蓄積開始点(OBLA)の運動強度

Laの増加点であるLTやLaが4mmol/Lに達する点であるOBLAにおけるHRを算出するため、乳酸値解析ソフトウェアMEQNET LT Manager (ARKRAY社製)を用いて心拍数-血中乳酸濃度関係曲線(HR-La関係曲線)を描き、LTおよびOBLAに対応するHRを得た。算出した数値が4mmol/Lを超える場合やエラーで数値が表示されない場合は、Simonら<sup>24)</sup>の方法に従ってLTにおけるLaを算出した。また、HRとLaの関係を二次回帰式で表し、LT時のHR(HR<sub>LT</sub>)とOBLA時のHR(HR<sub>OBLA</sub>)および速度(V<sub>LT</sub>, V<sub>OBLA</sub>)を算出した。

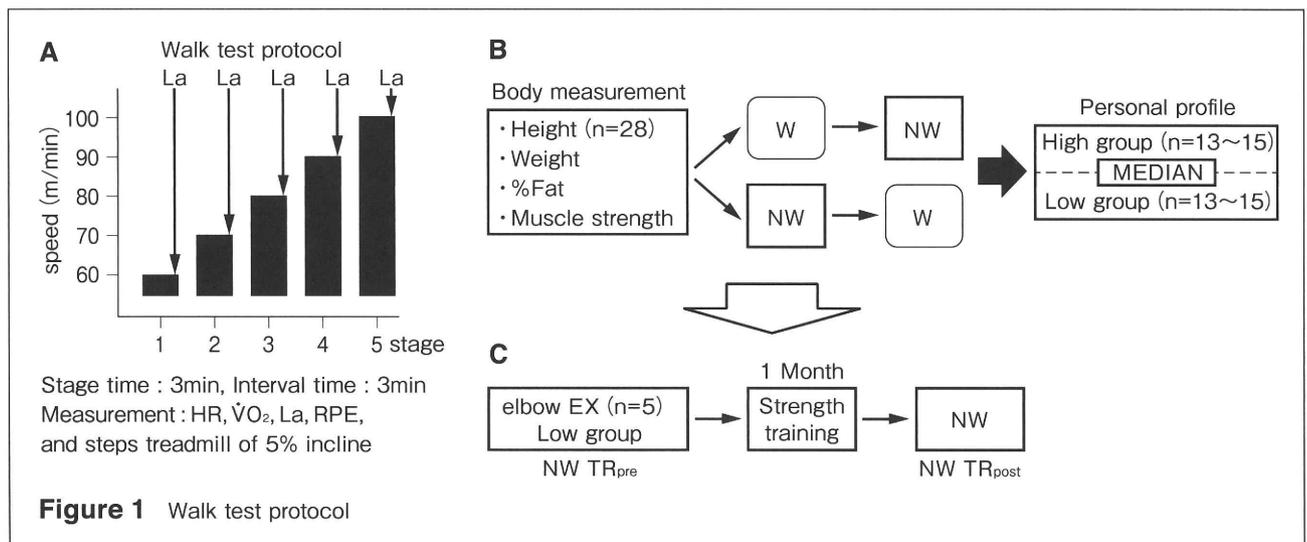
#### 実験2<上肢筋力の増加がNW中の運動強度に及ぼす影響>

##### 1. 対象者

対象者は、身体プロフィールのうち上肢筋力(体重比)の値が小さい者5名で、対象者の年齢、身長、体重およびBMIはそれぞれ18.4±0.2歳、161.6±2.0cm、54.5±2.2kgおよび20.5±0.6kg/m<sup>2</sup>であった。すべての対象者は特別な上肢の筋力トレーニング(TR)を行った経験はなかった。

##### 2. 実験2プロトコル

上肢の筋力を向上させるために、被験者にはTRの正しい実施方法を指導した上で各自のペースでプッシュ



ユアアップ(腕立伏せ)とリバースプッシュアップ(10~15回/セット、2~3セット/日、2~3日/週)の筋力トレーニング(TR)を1カ月間、実施した。1カ月のTR後、上肢筋力と歩行測定を行いTR前後(NW TR<sub>pre</sub>, NW TR<sub>post</sub>)で比較した。各種測定は実験1と同様の方法で行った(Figure 1-C)。

### 3. 統計解析

統計解析ソフトはGraphPad社製PRISM Ver 6.0を用いた。各測定から得られたデータは、すべて平均値±標準誤差(mean±SEM)で示した。WとNW中の各歩行速度に対するHR、La、 $\dot{V}O_2$ 、RPEおよび歩数の比較は二元配置分散分析を用いた。有意差が認められた場合にはPost hoc検定(Sidak法)を用い条件間比較を行った。対象者の身体組成および最大筋力の値は中央値を基準とし、それより値の高い集団(High群)と低い集団(Low群)に二分した。High群とLow群のLTおよびOBLA時の比較には対応のないt検定を用い、WとNWの比較には対応のあるt検定を用いた。W、トレーニング前NW(NW TR<sub>pre</sub>)、トレーニング後NW(NW TR<sub>post</sub>)のLTおよびOBLAに相当するHRの3群の比較には一元配置分散分析を用い、Post hoc検定(Tukey法)を用い条件間比較を行った。いずれも、有意水準は5%未満とし、 $p < 0.05$ または $p < 0.01$ で示した。

## 結果

### 実験1(身体プロフィールが歩行中のLa動態に及ぼす影響)

本研究はOBLAに達した時点で終了したため、被験者によって測定終了時の速度が異なった。各歩行速度の平均値はどちらか一方の歩行を実施できな

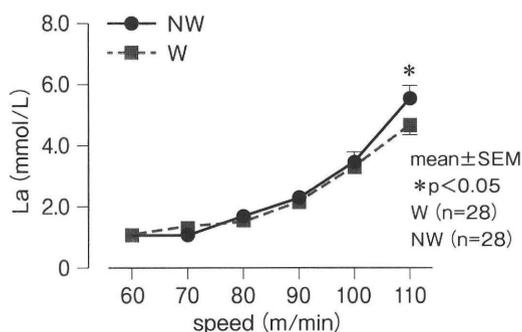
った者(100m/min:1名、110m/min:6名)を除外して算出した。Wと比較して、NW中のRPEは差を認めなかったもののHRおよび $\dot{V}O_2$ は、90m/min、100m/min、110m/minにおいて高値を示した( $p < 0.05$ )。また、NW中の歩数は測定した全速度においてWよりも低値を示し( $p < 0.05$ )、NW中の歩幅の増大を示した。(@100m/min:W vs NW, HR:156.6±2.6bpm vs 159.4±2.5bpm、 $\dot{V}O_2$ :24.3±0.5 vs 25.2±0.5mL/kg/min、Steps:130.9±1.3 vs 128.5±1.2、 $p < 0.05$ )。Figure 2は被験者28名の速度(speed)-La関係をmean±SEMで示した。

60m/minから100m/minで両歩行に差は認めないが、個別に観察すると同一速度におけるWと比較して、NW中のLaが高くカーブが左に位置するタイプが13名と、Laが低くカーブが右に位置するタイプが6名、WとNWのカーブが途中で逆転するタイプが9名混在していたことから、speed-La関係に明らかな個人差があることを認めた。そのため、個人の身体プロフィールがNW中のLa動態に及ぼす影響についての解析を行った。

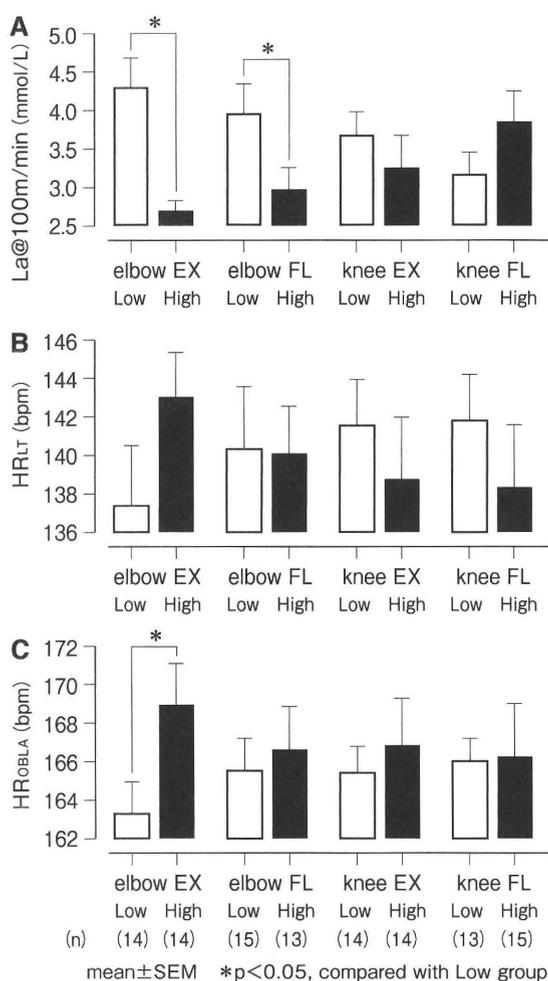
Table 1には身体プロフィールのmean±SEM、Low群とHigh群におけるそれぞれの平均値を示した。Figure 3には肘伸展筋力(体重比; elbow EX)、肘屈曲筋力(体重比; elbow FL)、膝伸展筋力(体重比; knee EX)、膝屈曲筋力(体重比; knee FL)のHigh群とLow群の100m/minの時点におけるLa値、LT時点におけるHR(HR<sub>LT</sub>)およびOBLA時点におけるHR(HR<sub>OBLA</sub>)をmean±SEMで示した。図には示していないが身長、体重、BMIおよび%Fatについて100m/minの時点におけるLa値は両群間で差が認められなかった。NW中の100m/min時点のLa値は

**Table 1** Personal body profiles

	n	Height (cm)	Weight (kg)	BMI	%Fat	elbow EX (kgf/kg)	elbow FL (kgf/kg)	knee EX (kgf/kg)	knee FL (kgf/kg)
Mean±SEM	28	158.5±1.0	52.8±1.3	21.0±0.4	26.2±0.9	0.17±0.07	0.26±0.08	0.65±0.24	0.22±0.10
High group	14	162.4±0.8	56.1±1.0	22.5±0.4	30.0±0.7	0.20±0.06	0.29±0.07	0.75±0.24	0.25±0.12
Low group	14	154.6±1.0	46.3±1.0	19.0±0.3	22.8±0.7	0.14±0.15	0.23±0.06	0.54±0.16	0.18±0.06



**Figure 2** The relationship between walk speed and blood lactate accumulation (La) during normal walking (W) and Nordic walking (NW). Indicate average values of La at each walk speed of all subjects.



**Figure 3** Effects of muscle strength on La at 100m/min and on HR at LT and OBLA.

elbow EX, elbow FLにおいて、Low群はHigh群と比較して有意に高値を示した (elbow EX Low群:  $4.3 \pm 0.4$  mmol/L, High群:  $2.7 \pm 0.1$  mmol/L, elbow FL Low群:  $4.0 \pm 0.4$  mmol/L, High群:  $3.0 \pm 0.3$  mmol/L ( $p < 0.05$ ) (Figure 3-A)。また、HR<sub>LT</sub>ではどの項目においても両群に差が認められなかったが (Figure 3-B)、HR<sub>OBLA</sub>ではelbow EXにおいてLow群は  $162.9 \pm 1.8$  bpmであったのに対して、High群は  $168.9 \pm 2.2$  bpmと有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ) (Figure 3-C)。

Figure 4 は elbow EXのLow群とHigh群における speed-HRおよび speed-La関係に及ぼす影響について示した。panel A, B, CおよびDは上肢伸展筋力(体重比)の違い(すなわちLow群 vs High群)について、panel E, F, GおよびHは歩行様式の違い(W vs NW)で比較している。W中のHRは、すべての速度においてLow群はHigh群よりも有意に高値を示し (Figure 4-A)、La値もLow群はHigh群よりも高値であった ( $p < 0.05$ ) (Figure 4-C)。NW中、High群のHRがWよりも全速度において増加したためLow群との差は認められなかったが (Figure 4-B)、La値はLow群において有意に高値を示した (Figure 4-D)。図では示していないが、NW中のLow群のRPEは80m/minを除くすべての速度において、High群よりも高値を示したものの (@100m/min: High群:  $14.6 \pm 0.5$ , Low群:  $15.6 \pm 0.5$ ) ( $p < 0.05$ )、 $\dot{V}O_2$ では両群に差は認められなかった。歩行様式の違いでは、NWにおいてHigh群のHRがWより高値を示したが ( $p < 0.05$ ) (Figure 4-E)、Laでは差が認められなかった (Figure 4-G)。

一方、Low群のHRはNW、Wにおいて有意な差を認めなかったが (Figure 4-F)、Laでは90m/min、100m/minの速度においてNWはWより有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ) (Figure 4-H)。

Figure 5 はNW中のLa動態をHR-La関係曲線として示した。Low群(▽)はHigh群(▲)よりも左側に多く分布し、関係曲線(灰色線)も左方に位置する。High群はLow群と比較して関係曲線(実線)は右方に位置し、NW中に高いHRまでLa値が上昇しない傾向が認められた。

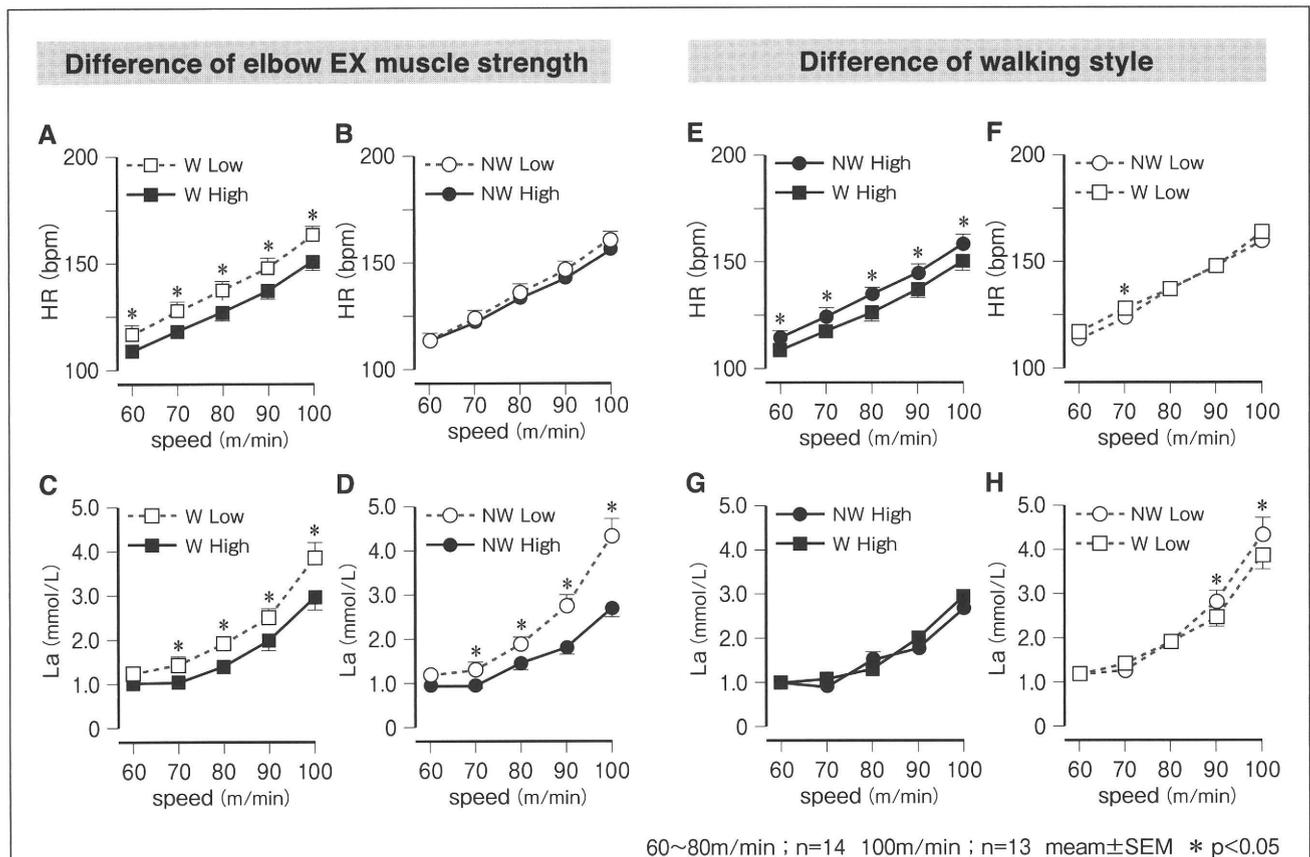
Figure 6 はelbow EXのHigh群およびLow群のLTの速度( $V_{LT}$ ) (Figure 6-A)およびOBLA時の速度( $V_{OBLA}$ ) (Figure 6-B)を、両群でそれぞれ比較した。Wでは群間の差を認めなかったが、NWのLTおよびOBLAにおいてLow群はHigh群よりも有意に低値を示した( $V_{LT}$ :NW High群:86.5±2.0m/min、NW Low群:80.0±1.7m/min、 $V_{OBLA}$ :NW High群:108.5±1.2m/min、NW Low群:99.3±2.0m/min) ( $p<0.05$ )。

**実験2**〈上肢筋力の増加がNW中の運動強度に及ぼす影響〉

elbow EXのLow群はHigh群と比較しNW中にLaの大きな上昇を示したため、筋力の弱いタイプに対して上肢の筋力トレーニング(TR)を実施した。各被験者の体重には変化を認めないものの、TR前( $TR_{pre}$ )と比較してTR後( $TR_{post}$ )の肘伸展筋力は有意に増加し

(NW  $TR_{pre}$ :7.6±0.6kg、NW  $TR_{post}$ :8.5±0.6kg) ( $p<0.05$ )。Figure 7 はW、NW  $TR_{pre}$ およびNW  $TR_{post}$ における $HR_{OBLA}$  (Figure 7-A)、OBLA時点の速度( $V_{OBLA}$ ) (Figure 7-B)およびHR-La関係曲線を3群間で比較した結果 (Figure 7-C) を示す。

図では示していないが、NW中の各歩行速度におけるHRとRPEはTR前後で有意な変化を示さなかった。また、NW  $TR_{post}$ の各歩行速度におけるLaと $\dot{V}O_2$ はNW  $TR_{pre}$ と比較して全体的に低値を示す傾向にあり、100m/minでは有意な低値を示した (La:NW  $TR_{pre}$ :4.5±0.7mmol/L、NW  $TR_{post}$ :3.8±0.1mmol/L、 $\dot{V}O_2$ :NW  $TR_{pre}$ :25.0±0.9mL/kg/min、NW  $TR_{post}$ :22.6±1.2mL/kg/min) ( $p<0.05$ )。また、 $HR_{OBLA}$ はNW  $TR_{pre}$ と比較しNW  $TR_{post}$ で有意に増加した ( $p<0.05$ ) (Figure 7-A)。 $V_{OBLA}$ はTR前後で有意な差は



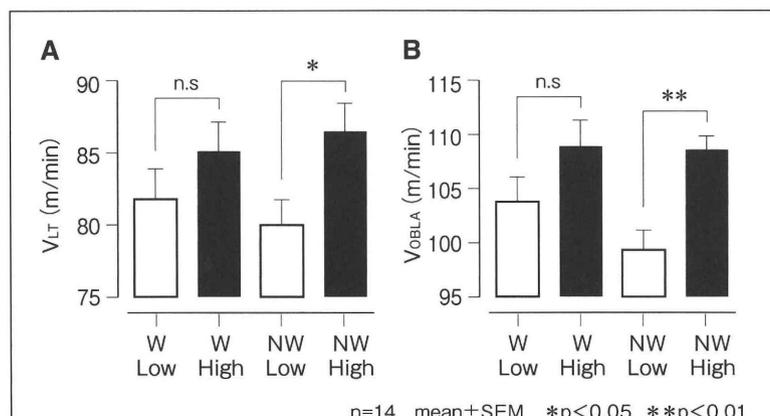
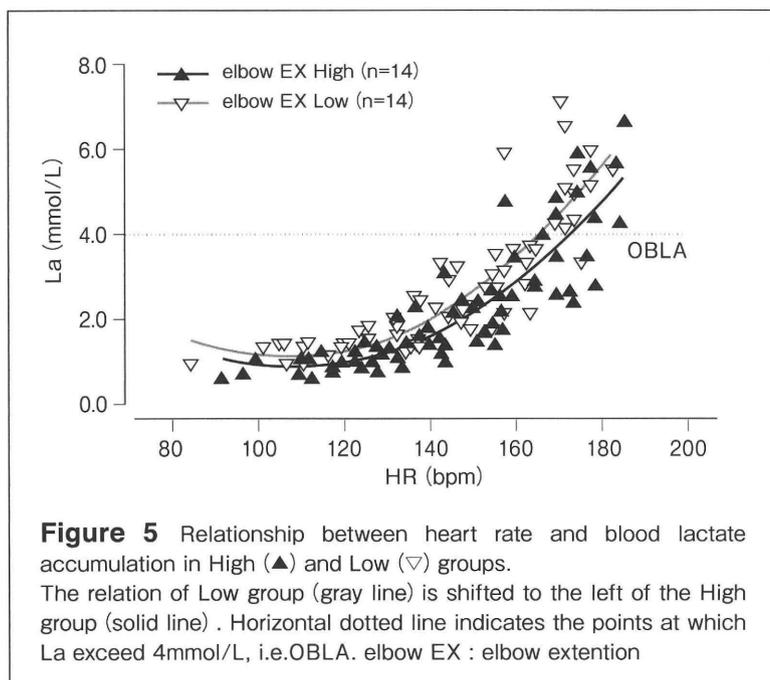
**Figure 4** Heart rate (HR) and blood lactate accumulation (La) at each walk speed. Left four panels represent the difference between High and Low groups of upper limb muscle strength at each walk style. Right four panels represent the difference between walk styles of the High and Low groups.

認めなかったが、NW TR<sub>post</sub>で増加傾向を示した。その結果、V<sub>OBLA</sub>はNW TR<sub>pre</sub>ではWと比較し有意に低い値を示していた(p<0.05)がNW TR<sub>post</sub>では解消され、その差が消失した(Figure 7-B)。Figure 7-Cでは同一心拍数に対するLa動態を比較するため3群を曲線で示した。HR-La関係曲線はNW TR<sub>pre</sub>ではWよりも左に位置していたが、NW TR<sub>post</sub>ではNW TR<sub>pre</sub>よりも右方へシフトした。

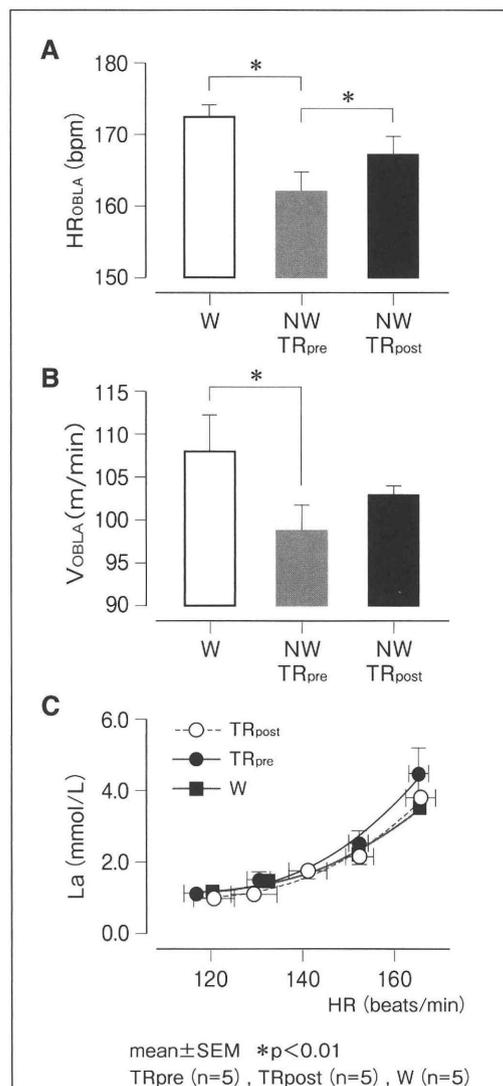
## 考察

実験1では、身体プロフィールがNW中のLa動態にどのような影響を及ぼすかについて検討した。その結果、speed-La関係は個人差が大きく、体脂肪やBMI、脚筋力の高低よりも、NWではelbow EXの高低がその要因の一つである可能性が示された。

上肢筋力(体重比)の強いタイプでは、NW中にLa



**Figure 6** Walk speed at LT (V<sub>LT</sub>) (panel A) and OBLA (V<sub>OBLA</sub>) (panel B) of High and Low groups of elbow extensor strength during W and NW. During NW, blood lactate did not exceed 4mmol/L (OBLA) until significantly higher walk speed in elbow extensor-High group compared to Low group.



**Figure 7** Heart rate (panel A) and walk speed at OBLA and relation between heart rate and blood lactate accumulation. Strength training to upper limb (TR<sub>post</sub>) significantly improved exercise endurance in comparison with before training (TR<sub>pre</sub>).

の上昇を抑制しつつ、HRを増加させ循環器系に負荷をかけることが可能であり、上肢筋力の弱いタイプでは歩行様式の違いがHRに及ぼす影響が少ないものの、NWによってLaが速度依存的に増大し、感覚的にも負担を感じていることが示された。先行研究<sup>25)</sup>において歩行条件がWと同じであれば初心者であっても、HRが増加するとともに歩幅が広がり、NWの効果が得られることが報告されている。本研究においても同様の結果が得られたことから、その歩行はNWとして妥当であったと考えられる。

本研究では身長、体重、BMIなどの形態的測定値で二分したLow群とHigh群において、歩行中のHRおよびLaにおいて両群に差を認めなかった。被験者はBMI  $21.0 \pm 0.4$ と標準であり、比較的体型の似ている被験者で検討を行ったため、差が出にくかった可能性が考えられる。しかしながら、100m/min時Laのelbow EXにおいてHigh群はLow群と比較し有意に低値を示し、さらに、HR<sub>OBLA</sub>においてHigh群はLow群と比較し有意に高値を示した。つまり、上肢筋力が強いタイプでは血中乳酸の蓄積を抑制しつつ、より高い運動強度まで運動実施が可能である一方で、Low群は低いHRでOBLAに達したことを意味する。

NW中の筋活動では上腕三頭筋の活動が増加し、下肢の筋活動が低下していることが報告されている<sup>10)</sup>。肘伸展筋力は主に上腕三頭筋の筋収縮と大きく関連することから、elbow EXの差がNW中のHR<sub>OBLA</sub>に影響を与えていることは十分考えられる。よって、上肢筋力が弱いためにポールによる推進力を得られにくい者や過体重によって推進力を得られない者では、速筋線維動員の増加による無酸素性エネルギー供給系によって歩行運動を実施せざるを得ない状況となり感覚的にも負担を感じていると考えられる。

実験2ではelbow EXの低いタイプに対して、肘伸展筋力の増加を目的としたトレーニング(TR)を実施し、NW中のLa動態をNW TR<sub>pre</sub>とNW TR<sub>post</sub>で比較した。TRによりelbow EXは有意に増加した。NW TR<sub>post</sub>におけるHR<sub>OBLA</sub>はNW TR<sub>pre</sub>と比較して有意に増加し、V<sub>OBLA</sub>においても有意に増加傾向を示した。

筋力トレーニングは単に筋力および筋持久力の向上のみならず、心肺機能の向上をももたらすといわれ、心臓リハビリテーションの分野においてもその効果や重要性が示されている<sup>26,27)</sup>。しかしながら、本研究のNW TR<sub>post</sub>において、各歩行速度におけるHRは変化しなかったことから、トレーニングによる心肺機能への影響は、極めて少なく無視し得ると考えられる。

その一方で、上肢筋力トレーニングは $\dot{V}O_2$ およびLaを有意に低下させた。Laの低下には2つの機序が考えられる。1つはtype II b線維の動員抑制であり、もう1つはtype II a線維もしくはtype I線維における乳酸利用の増加である。本研究の筋力増加はトレーニング初期(1~2カ月)による神経的適応により筋への興奮刺激の増加であると考えられる<sup>28)</sup>。そのため、同一歩行速度においてNW TR<sub>pre</sub>と比較しNW TR<sub>post</sub>では、 $\dot{V}O_2$ の低下からも相対的な運動強度が低くなり、type II b線維の動員が抑制されたと考えられる。一方で、type II b線維で産生された乳酸が心筋やtype II a線維およびtype I線維の有酸素系過程においてエネルギー源として利用される lactate shuttle<sup>29)</sup>の寄与により乳酸利用が増加し、Laを低下させた可能性も否定できない。elbow EXがNW中の相対的運動強度に影響を与える因子であり、上肢の筋力トレーニング実験においても、上肢筋力(体重比)が強いタイプの方はOBLA時に、より速い速度で歩行可能であることが示されたことから、実験1の結果を実験2で肯定できたと言える。

本研究で強調したい点は、上肢筋力の弱いタイプは無酸素性代謝が亢進し、感覚的に負担を感じるため、NWを行わない方がよいということではない。NWを実施する上で、上肢筋力(体重比)は相対的運動強度に関連する因子であることを理解した上で、運動強度の設定に注意しながら、処方および歩行を実施する必要があるということである。竹島らの研究<sup>30)</sup>によると、NWは全身持久力だけでなく筋力および肩関節の柔軟性やバランス保持などに対し効果があり、健康増進のための複合運動として推奨されている。NW実施者は、その特性を活かした直立四足歩行運動と

も言える全身運動に適応していく可能性がある。それゆえ、NWにより下肢の筋群に加え上肢の筋群も動員されれば全身の筋運動となり、低速度においても運動量の確保が可能となり、高齢者や体力水準の低い者においてもNWは推奨されるべきものであると考える。

本研究の結果から、運動指導の現場においてNWを実施する者に対して、予め上肢筋力を測定することで、どちらのタイプに属するのか評価することが可能と考える。NWを用いて体力水準が低い者やリハビリテーションとして運動する際の注意点としては、相対的運動強度の管理に市販のHRモニターなどを用いる事が有益である。特にelbow EX Low群に属するタイプであった場合には、歩行速度を抑えても十分な呼吸循環器系への刺激になり得ることから、歩行速度よりもHRによる強度設定を実施することで安全に運動リハビリテーションを遂行することが可能となるだろう。日常的に上肢筋力を使用しなくなった現代社会において、NW自体が上肢筋力の維持・向上にも繋がる可能性がある。また、竹田<sup>31)</sup>はノルディックウォーキングの動向の中でメディカルノルディックウォーキングを紹介し、健常な人と患者のNWのやり方が同じで良いはずがないとしている。患者に対してはできる範囲内で安全な歩行技術を習得し、上肢の筋力を考慮した上で個別に歩行のやり方を検討することが必要であると考えられる。

最後に、本研究では比較的限られた被験者における検討であったため、NW中の運動強度に差が見えにくかった。今後は年齢差、男女差、肥満と健常者で比較を行うことや歩行技術による運動強度との関連も検討する必要がある。

## 結 論

本研究では、身体プロフィールがNW中のLa動態に及ぼす影響について検討した。身体プロフィールのうち、肘伸展筋力(体重比)がNWの運動強度に大きく関連する因子であり、上肢筋力の強い者ではLaを

抑えつつ高強度での歩行が可能となり、上肢筋力の弱い者や過体重者にとっては、HRへの影響は少ないものの、Laが速度依存的に上昇することが示唆された。また、筋力トレーニングによる上肢筋力の増強は、HR-La関係曲線の改善を促し、NW中の強度に対する適応を促したと言える。すなわち、上肢筋力の高低はNW中の運動強度に影響を与える因子であり、運動処方として健康増進もしくはリハビリの一貫としてNWを実施する際に、対象者自身の上肢筋力を十分に考慮する必要性が示唆された。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、測定にご協力くださいました対象者の皆様に心より感謝いたします。また、十分な研究環境を提供して下さいました当時の順天堂大学保健看護学部学部長の稲富恵子先生はじめ助言を賜りました静岡大学教育学部杉山康司先生、祝原豊先生に深く御礼申し上げます。

## ■参考文献

- 1) 総務省統計局, 平成23年社会生活基本調査, 2009, <http://www.stat.go.jp/data/topics/topi641.htm>
- 2) 竹田正輝: 日本と世界のノルディックウォーキングの動向, 同志社保健体育 46: 89-103, 2008
- 3) Mathieson S: Health benefits of Nordic walking; a systematic review. British Journal of Sports Medicine 48: 1577-1578, 2014
- 4) Krzysztof P, Barbara R: Nordic Walking-A Versatile Physical Activity. Nordic Walking. Polish Journal of Sport and Tourism 17: 69-78, 2010
- 5) 仙石直子, 小泉大亮, 竹島伸生: 機能的体力を指標とした高齢者に対するノルディックウォーキングの介入効果. 体力学研究 57: 449-454, 2012
- 6) Je-myung S, Hae-yeon K, Ha-roo K: Comparison of the Effects of Walking with and without Nordic Pole on Upper Extremity and Lower Extremity Muscle Activation. Journal of physiological Therapy Science 25: 1553-1556, 2013
- 7) 中川喜直, 服部正明, 浅沼義秀: ストック・ウォーキングの生理学的研究 —傾斜変化による酸素摂取量と筋電学的検討—. 臨床スポーツ医学 6: 689-694, 2002

- 8) 前川剛輝, 西野昌美, 宮下充正, ら: ノルディックウォーキングと通常歩行の生理学的・力学的特性の比較. ウォーキング科学 4 : 95-100, 2000
- 9) 富田寿人, 杉山康司, 竹中広一, ら: ポールウォーキングが女性高齢者の心拍数, 酸素摂取量および主観的運動強度に及ぼす影響. ウォーキング科学 4 : 83-87, 2000
- 10) Sugiyama K, Kawamura M, Tomita H, et al : Oxygen uptake, heart rate, perceived exertion, and integrated electromyogram of the lower and upper extremities during level and Nordic walking on a treadmill. *Journal of physiological anthropology* 32 : 2, 2013
- 11) 井上千春, 青木喜満, 綿谷美佐子, ら: 変形性膝関節症に対するノルディックウォーキングの効果. 北海道整形災害外科学会雑誌 52 : 238-241, 2011
- 12) Hansen L, Henriksen M, Laresen P, et al : Nordic Walking dose not reduce the loading of the knee joint. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 18 : 436-411, 2008
- 13) 岩月宏奏, 岩月順子 : 健康青年者に普通歩行速度でノルディックウォーキングをさせた際の心拍変動と下肢荷重解析. 日本理学療法学会大会抄録集. A3, 2008 : pp1076
- 14) Felix S, Kleindienst FI, Wiemeyer J : Inverse Dynamic Analysis of the Lower Extremities During Nordic Walking, and Running. *Journal of Applied Biomechanics* 24 : 351-359, 2008
- 15) Schiffer T, Knicker A, Montanarella M : Mechanical and physiological effects of varying pole weights during Nordic walking compared to walking. *European Journal of Applied Physiology* 111 : 1121-1126, 2011
- 16) Schiffer T, Knicker A, Dannöhl R, et al : Energy cost and pole forces during Nordic walking under different surface conditions. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41 : 663-668, 2009
- 17) Kukkonen-Harjula K, Hiilloskorpi H, Mänttari A, et al : Self-guided brisk walking training with or without poles : a randomized-controlled trial in middle-aged women. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 17 : 316-323, 2007
- 18) Schiffer T, Axel K, Uwe H, et al : Physiological responses to Nordic walking, walking and jogging. *European Journal of Applied Physiology* 98 : 56-61, 2006
- 19) 辻川比呂斗, 濱口真知子, 岡田隆夫, ら : 緩斜面登行における通常歩行とノルディックウォーキングとの生理学的異差. 順天堂保健看護研究 1 : 26-33, 2012
- 20) 富岡徹: ストックを使ったウォーキングの歴史と身体効果の文献学的検討. 名城論業 8 : 3-30, 2008
- 21) Caroline P, Rafael T, Mainara de C, et al : Effects of eccentric-focused and conventional resistance training on strength and functional capacity of older adults, *The Official Journal of the American Aging Association* 37 : 99-105, 2015
- 22) 西島智子, 小山恵理子, 内藤郁子, ら: 高齢患者における等尺性膝伸展筋力と歩行能力との関係. 理学療法科学 19 : 95-99, 2004
- 23) 山崎裕司, 横山仁志, 青木詩子, ら: 膝伸展筋力と歩行自立度の関連—運動器疾患のない高齢者を対象として—. 総合リハ 30 : 61-65, 2002
- 24) Simon J, Young JL, Gutin B, et al : Lactate accumulation relative to the anaerobic and respiratory compensation thresholds. *Journal of Applied Physiology* 54 : 13-17, 1983
- 25) 山本敬三: 初心者を対象としたノルディックウォーキングの運動効果の分析. 浅井学園大学生涯学習システム学部研究紀要第 7 : 105-110, 2009
- 26) 松永篤彦, 神谷健太郎, 和泉徹, ら: 高齢心疾患患者の下肢筋力トレーニング目標値. 心臓リハビリテーション 8 : 49-52, 2003
- 27) 大宮一人, 井澤和夫, 渡辺敏: 心疾患患者に対するレジスタンストレーニングのエビデンスと実際. 心臓リハビリテーション 16 : 47-49, 2011
- 28) 樋口満: スポーツ現場に生かす運動生理学・生化学 (樋口満編), 市村出版, 東京, 2011 : pp55
- 29) Gladden LB : Lactate metabolism : a new paradigm for the third millennium. *The Journal of Physiology* 558 : 5-30, 2004
- 30) Takeshima N, Mohammad MI, Michael ER, et al : Effects of Nordic Walking compared to Conventional Walking and Band-Based Resistance Exercise on Fitness in Older Adults. *Journal of Sports Science and Medicine* 12 : 422-430, 2013
- 31) 竹田正樹: 2009年現在の世界のノルディックウォーキングの動向. 同志社保健体育 2 : 90-94, 2010