

局所筋エネルギー代謝量の推定法とその応用

○中山輝一*¹ 横山真太郎*¹ 山本憲昭*¹ 馬場裕康*¹
川初清典*¹ 若林斉*² 野村武男*²

*¹北海道大学, *²筑波大学

The Prediction Method and Application of Local Muscle Energy Metabolic Rate

○Teruichi NAKAYAMA*¹ Shintaro YOKOYAMA*¹ Noriaki YAMAMOTO*¹ Hiroyasu BABA*¹
Kiyonori KAWAHATSU*¹ Hitoshi WAKABAYASHI*² Takeo NOMURA*²
*¹Hokkaido University, *²Tsukuba University

Abstract : The purpose of this paper is to discuss the prediction method and application of local muscle energy metabolic rate. Local muscle energy metabolic rate are determined with simultaneous measurements of total energy metabolic rate and integrated electromyograms. In this study, the predicted muscle groups were tibialis anterior, triceps surae, rectus femoris, biceps femoris, rectus abdominis, gluteus maximus, and erector spinae. Those electromyograms were not only measured during 11 static resting and exercising items but also 5 dynamic work items. The measurements of electromyograms were also performed during maximum voluntary contraction. Subjects were 3 Japanese normal males who wore only bathing suits. In addition, the laboratory was kept at even temperature, relative humidity, and wind velocity in order to eliminate the effect of the thermal condition.

First, integrated electromyograms were calculated based on electromyograms after this experiment. Next, it was necessary that the algorithm, which drawing 8 work items from 16 ones, was contrived as a means of solving determinant of matrix. Finally, The program figured out local muscle energy metabolic rate at some combination of work item. Predicted local muscle energy metabolic rate of muscle group, which is considered to be agonist muscle, shows high metabolic rate at each work items.

1. はじめに

今日までの科学技術の進歩によって、人間は様々な恩恵を享受してきた。建築環境においても、空気調和技術の発達、人間の活動域を広げ、またライフスタイルの変化をもたらした。しかし、その一方で、化石燃料の大量消費による地球環境に関わる問題が深刻化してきた。そこで、省エネルギー性を考慮した床暖房、パーソナル空調、車室内環境など不均一な温熱環境に対する精度の高い評価法と制御法が求められている。それらの要請に対応するため部位別特性を考慮した生体内温度予測プログラムが開

発されている。このプログラムの基礎データとして、局所筋エネルギー代謝量は重要なパラメータであるといえる。

ヒトのエネルギー代謝量の測定に関し、総エネルギー代謝についての研究は多い一方で、総エネルギー代謝量の変動を左右する個々の筋器官についてのエネルギー代謝量測定の方法論は確立されていない¹⁾。そこで、本研究では各種人間活動における総エネルギー代謝量ならびに活動する筋のエネルギー代謝量と線形関係にある指標の同時測定実験を行い、局所筋エネルギー代謝量を推定することを目的としている。

2. 実験概要

活動する筋のエネルギー代謝量と線形関係にある指標としては、双極表面誘導筋電図を使用する¹⁾。Table1 に示すような年齢 20~25 歳の健康な青年男子 3 名に、Table2 に示す 11 項目の静的姿勢保持、5 項目の動的作業を行わせた。

各労作項目において、エネルギー代謝量、双極表面誘導筋電図の同時測定を以下のように行った。

エネルギー代謝量は間接熱量法を使用して測定した。WESTRON の Respiratory Mass Spectrometer WRMS-2000 を使用し、プレスバイプレスの酸素摂取量と二酸化炭素排出量の和から呼吸商を求め、栄養素の燃焼比率と発生エネルギーの関係から一定時間の酸素摂取量での発生エネルギーを、一定時間の総エネルギー代謝量とした。

双極表面誘導筋電図は日本光電の Multi Telemeter System WEB-5500 を用い、各個人について電極間距離 1.5 cm、筋線維に平行な同一日の同一電極条件で、Table3 に挙げる 7 筋群の右体側から導出した。また最大筋力比の算出のため、7 筋群の最大筋力発揮時における双極表面誘導筋電図の測定も行った。

なお、被験者は短パツツのみの裸体で、温熱条件の影響を除くため環境気温約 28℃、相対湿度約 60%、風速 0.05~0.15m/sec 程度に設定された人工気候室内で実験が行われた。

Table1 Body height, weight and skin surface area of subjects

| Subject | Height [cm] | Weight [kg] | Skin Area [m ²] |
|---------|-------------|-------------|-----------------------------|
| K K | 172 | 67.0 | 1.807 |
| S D | 182 | 73.0 | 1.952 |
| W M | 175 | 67.5 | 1.836 |
| Mean | 176 | 69.2 | 1.865 |

Table2 Work item

| 静的姿勢保持 | 動的作業 |
|---------------|------------------|
| 安静椅座 | 水中足踏み |
| 弛緩立位 | 水中足踏み |
| 緊張立位 | 水中自転車エルゴメータ(軽負荷) |
| 爪先立ち | 水中自転車エルゴメータ(中負荷) |
| 中腰姿勢(膝関節120度) | 水中自転車エルゴメータ(重負荷) |
| 最前屈 | |
| 中腰姿勢(膝関節180度) | |
| 中腰姿勢(膝関節90度) | |
| 足関節屈曲 | |
| 体幹屈曲 | |
| 水中安静椅座 | |

Table3 Subject Muscles and their symbols

| Symbol | Muscle |
|----------------|-------------------|
| x ₁ | Tibialis anterior |
| x ₂ | Triceps surae |
| x ₃ | Rectus femoris |
| x ₄ | Biceps femoris |
| x ₅ | Rectus abdominis |
| x ₆ | Gluteus maximus |
| x ₇ | Erector spinae |

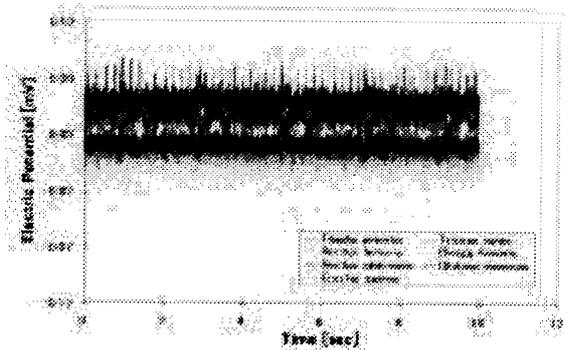


Fig.1 EMG in a sitting position at rest

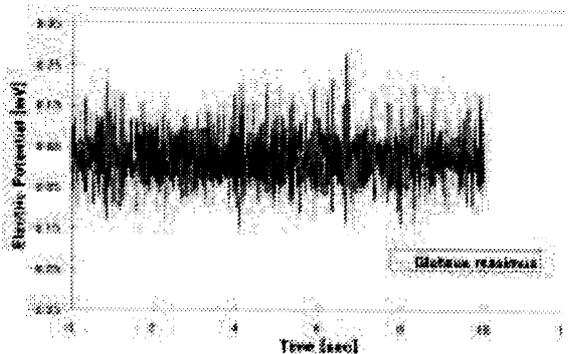


Fig.2 EMG in tensed standing

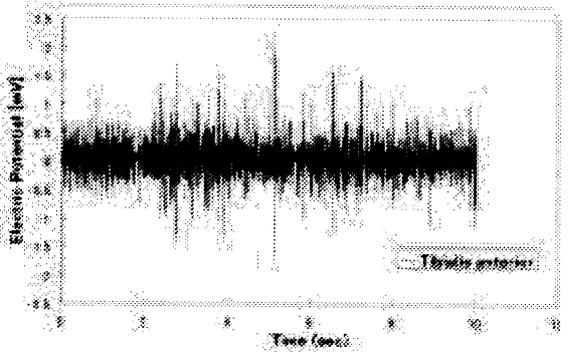


Fig.3 EMG in kneeling position at 90 degrees

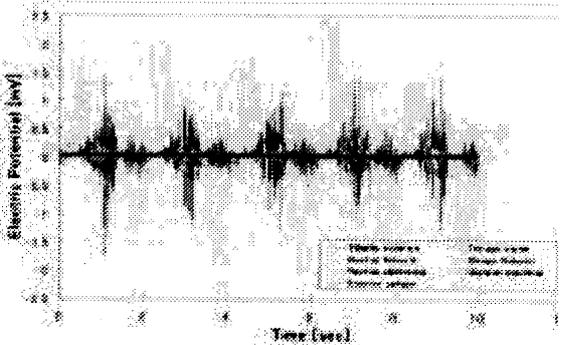


Fig.4 EMG in a ergo meter exercise at heavy loading

3. 実験結果と考察

3-1. 双極表面誘導筋電図と積分値

実験結果の一例として、被験者 WM の安静椅座における筋電図を各筋群の筋電図を Fig.1 に示し、比較のため、緊張立位における臀筋群、及び中腰姿勢 90 度における前下腿筋群の筋電図を Fig.2,3 に示す。ドリフトにより、筋電図の基線のずれはあるが、安静椅座では 7 筋群全ての筋電図の振幅が約 0.04mV と非常に小さかったが、上述の 2 筋の筋電図はそれぞれ、約 0.1, 1.0mV の振幅をとり、活動している筋群において大きな電位の発生が確認できた。

また、巡回性の動的筋収縮時の一例として、水中エルゴメータ重負荷における筋電図を Fig.4 に示す。被験者は 30rpm でペダルをこいだため、約 2 秒間の周期で各筋群において同様の振幅が見られた。

次に、各労作項目における各筋群の筋電図積分値を Table4, Fig.5 に示す。Table4 の最大値は、最大筋力発揮時における各筋群の筋電図積分値を意味する。また Fig.4 において、水中自転車エルゴメータの中負荷及び重負荷での後大腿筋群の筋電図積分値が非常に大きな値であったが、他の筋電図積分値との比較を視認しやすくするため、目盛りの最大値は 200W とした。その他、緊張立位時の臀筋群、体幹屈曲時の前腹筋群には大きな値が見られた。ここで、動的筋収縮時の双極表面誘導筋電図積分値を同時に考慮するため、全ての筋電図積分値は 1 秒間あたりの積分値として算出している。

3-2. 最大筋力比

最大筋力発揮時において、このときの j 筋の発揮張力を P_{jmax} 、単位時間当たりの双極表面誘導筋電図積分値を m_{jmax} とする。また、ある筋労作 i において、このときの j 筋の発揮張力を P_{ij} 、単位時間当たりの双極表面誘導筋電図積分値を m_{ij} とする。発揮張力と単位時間当たりの双極表面誘導筋電図積分値が、1 次比例関係にあるとすると、次式が成り立つ。

$$P_{ij} / P_{jmax} = m_{ij} / m_{jmax} \quad (3-1)$$

ここで、 P_{ij} / P_{jmax} を最大筋力比という。

そこで、 m_{ij} 、 m_{jmax} を測定することにより、最大筋力比を算出し、同一姿勢での筋群間の負担評価を行うことができる。

Table4 の最大値から最大筋力比を算出し、Table5 に示す。Table4 において前大腿筋群の最大値は非常に大きい値であるにもかかわらず、水中自転車エルゴメータの作業時には、最大筋力比が大きな値となっていることから、この労作項目における前大腿筋群の活動度の高さがうかがえる。

Table6 に、被験者 WM の各労作項目における総エネルギー代謝量を示しておく。

Table4 Integral Value of EMG [$\mu V \text{ sec}$]

| | 前腹筋 | 腹筋 | 大腿直筋 | 大腿二頭筋 | 腹直筋 | 大臀筋 | 体幹起立筋 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 安静椅座 | 5.71 | 3.78 | 4.30 | 9.10 | 4.92 | 3.61 | 6.77 |
| 弛緩立位 | 3.34 | 9.05 | 4.37 | 9.56 | 4.74 | 3.92 | 8.88 |
| 緊張立位 | 2.99 | 4.08 | 3.87 | 3.01 | 4.37 | 47.04 | 8.29 |
| 爪先立ち | 3.36 | 6.46 | 4.30 | 19.47 | 11.20 | 3.78 | 5.91 |
| 中腰120度 | 72.35 | 3.60 | 7.38 | 12.00 | 4.70 | 3.73 | 11.40 |
| 最前屈 | 3.35 | 2.74 | 4.74 | 35.25 | 5.14 | 6.64 | 13.13 |
| 中腰180度 | 5.38 | 4.46 | 4.71 | 19.15 | 4.32 | 9.39 | 18.73 |
| 中腰90度 | 116.45 | 2.75 | 15.29 | 11.33 | 2.35 | 3.37 | 8.02 |
| 足関節屈曲 | 190.22 | 6.10 | 12.82 | 14.59 | 5.25 | 4.15 | 8.06 |
| 腹筋 | 1.41 | 1.98 | 19.50 | 2.30 | 51.90 | 2.92 | 3.25 |
| 氣中足踏み | 56.92 | 24.55 | 10.78 | 23.10 | 5.23 | 9.90 | 12.15 |
| 水中足踏み | 103.95 | 11.39 | 36.89 | 24.30 | 6.23 | 10.88 | 8.92 |
| 水中安静椅座 | 3.10 | 3.74 | 3.88 | 3.79 | 9.42 | 3.47 | 4.79 |
| 水中エルゴ軽負荷 | 72.37 | 9.84 | 21.06 | 54.35 | 4.28 | 4.85 | 5.41 |
| 水中エルゴ中負荷 | 73.73 | 39.58 | 13.41 | 382.75 | 6.43 | 8.15 | 5.60 |
| 水中エルゴ重負荷 | 87.35 | 47.78 | 30.90 | 571.03 | 4.75 | 12.05 | 5.92 |
| 最大値 | 530.94 | 216.55 | 236.46 | 344.35 | 230.50 | 425.31 | 31.62 |

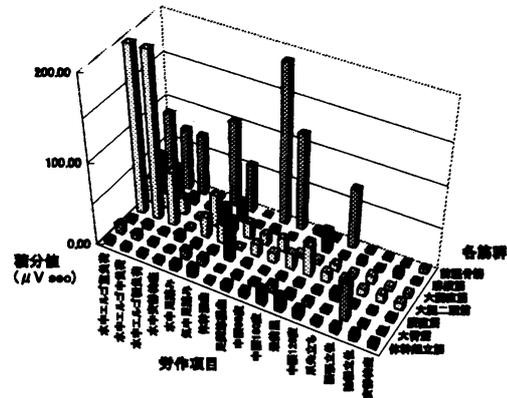


Fig.5 Integral Value of EMG [$\mu V \text{ sec}$]

Table5 Proportion of Integral Value to those of Maximum [%]

| | 前腹筋 | 腹筋 | 大腿直筋 | 大腿二頭筋 | 腹直筋 | 大臀筋 | 体幹起立筋 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 安静椅座 | 1.37 | 1.74 | 1.62 | 1.23 | 2.13 | 0.85 | 7.39 |
| 弛緩立位 | 0.63 | 4.18 | 1.95 | 1.48 | 2.36 | 0.92 | 3.69 |
| 緊張立位 | 0.54 | 1.86 | 1.17 | 1.24 | 2.33 | 11.05 | 3.05 |
| 爪先立ち | 0.58 | 2.98 | 1.35 | 1.33 | 4.36 | 0.90 | 3.46 |
| 中腰120度 | 13.53 | 1.76 | 3.12 | 1.35 | 2.34 | 1.35 | 12.44 |
| 最前屈 | 0.53 | 12.58 | 2.00 | 5.47 | 2.23 | 1.61 | 20.88 |
| 中腰180度 | 1.13 | 2.06 | 1.39 | 2.37 | 2.39 | 2.21 | 20.44 |
| 中腰90度 | 21.34 | 1.27 | 5.46 | 1.94 | 1.32 | 0.79 | 8.75 |
| 足関節屈曲 | 35.33 | 2.82 | 5.42 | 2.25 | 2.28 | 0.98 | 8.80 |
| 腹筋 | 0.27 | 0.87 | 3.24 | 0.35 | 22.48 | 0.69 | 3.55 |
| 氣中足踏み | 10.72 | 11.34 | 4.56 | 3.69 | 2.25 | 2.33 | 13.26 |
| 水中足踏み | 19.56 | 5.28 | 16.45 | 3.85 | 2.71 | 2.56 | 3.74 |
| 水中安静椅座 | 0.58 | 1.73 | 1.54 | 0.59 | 4.39 | 0.82 | 5.23 |
| 水中エルゴ軽負荷 | 13.53 | 4.54 | 9.31 | 10.03 | 1.35 | 1.14 | 5.91 |
| 水中エルゴ中負荷 | 13.98 | 18.28 | 9.21 | 59.40 | 2.79 | 1.92 | 3.12 |
| 水中エルゴ重負荷 | 16.45 | 22.07 | 13.07 | 99.52 | 2.07 | 2.83 | 3.47 |

Table6 Energy Metabolism of Each Work

| 労作項目 | 総エネルギー代謝量(W) |
|----------|--------------|
| 安静椅座 | 125.7 |
| 弛緩立位 | 145.7 |
| 緊張立位 | 214.3 |
| 爪先立ち | 176.1 |
| 中腰120度 | 211.9 |
| 最前屈 | 219.1 |
| 中腰180度 | 179.6 |
| 中腰90度 | 239.3 |
| 足関節屈曲 | 170.8 |
| 腹筋 | 231.5 |
| 氣中足踏み | 283.4 |
| 水中足踏み | 330.5 |
| 水中安静 | 120.4 |
| 水中エルゴ軽負荷 | 304.3 |
| 水中エルゴ中負荷 | 326.7 |
| 水中エルゴ重負荷 | 416.5 |

