

座圧・足圧に着目したローイングマシンの評価

渡 辺 勇 真・宮 脇 和 人

Evaluation of the rowing with pressure of seat and sole

Yuma WATANABE and Kazuto MIYAWAKI

(平成24年12月10日受理)

The relative increase of elderly people presents sever problems for modern society. As one example, elderly people confront various health-related problems. Development of better rehabilitation machines and equipment is important to resolve this problem and to preserve the health of elderly people in daily life. This study specifically addresses rowing machines. Rowing machines are aerobic exercise machines, as are running machines and bicycling machines. Aerobics exercise can alleviate hypertension, obesity, to sole pressure. Results showed differences among individuals at each examination, demonstrating that a load mechanism requires a load control system.

1. 緒言

近年の日本の抱える社会問題の一つに高齢化社会が挙げられる。日本の総人口1億2,8065万人に対して、65歳以上の高齢者の人口は2,958万人と、割合にして23.1%となる。つまり、5人に1人が高齢者であるということである⁽¹⁾。今後も、日本の高齢化が進行すると推計されている。そして、高齢者は健康面で様々な問題を抱えている。

高血圧、糖尿病といった生活習慣病の改善を図るために、運動は非常に有用である⁽²⁾。しかし、運動と一口に言っても、器具が不用で手軽なものから、器具が必須であったり、比較的難易度の高いものであったりと、その種類は多岐にわたる。若い頃からスポーツに親しんできた高齢者にとっては、運動の種類に問題は無いが、あまりスポーツに馴染みの無い高齢者が運動を始めるにあたり、難易度の高いスポーツである水泳やテニスなどは不適當である。スポーツ初心者が運動を始めるにあたって、リハビリテーション機器を使った単純な運動であるジョギングやサイクリングなどが適している⁽³⁾。

以上のことから、高齢者には運動補助機器やリハビリテーション機器が必要であることが分かる。しかし、現在の運動補助機器やリハビリテーション機器にはまだまだ改善の余地があると考えられる。

そこで本研究では、リハビリテーション機器の中

からローイングマシンに着目し、評価を行なった。ローイングマシンというのは、ローイング運動と呼ばれるボートを漕ぐ動作を室内でも行うことができるリハビリテーション機器であり、筋力強化だけでなくランニングマシンやエアロバイクと同様に有酸素運動に効果のあるリハビリテーション機器でもある。そして、有酸素運動は脂肪の燃焼に適した運動であるため、生活習慣病の原因の一つである肥満の改善に効果的である。そのため、健常者にローイングマシンを使用してもらい、その時の心拍数を計測した。心拍数は有酸素運動の指標の一つである。また、以前にローイング運動時の各関節の軌跡と床反力を計測し、評価を行った研究があった⁽⁴⁾。これは、計測システムが複雑であるため、本研究ではローイングマシンと使用者の接地面のみに着目し、より計測しやすい圧力分布測定を用い、ローイング運動時の座面の圧力と足裏の圧力を計測した。有酸素運動と上半身の姿勢と足にかかる荷重から総合的にローイングマシンの評価を行った。

2. ローイングマシンとローイング運動

2.1 ローイングマシンの構成⁽⁵⁾

本研究で用いた高齢者のリハビリ用のローイングマシンは、下肢の屈伸運動を行う座面スライド部と腕の屈曲、伸展運動を行う負荷装置部から構成され



図1 ローイングマシンの構成



図2 ローイングマシンの使用例

ている。このローイングマシン各部の構成と、使用例を図1, 2に示す。ローイングマシンの負荷装置部はハンドル、チェーン、フライホイールから構成されており、ハンドルを引くことによる負荷がチェーンを介してフライホイールに蓄積され、ローイング運動(ボートを漕ぐ動作)を行うことができる。

2.2 ローイングマシンの仕様

ローイングマシンはローイング運動時に座面スライド部が前後方向680mmの範囲でスライドする。チェーンは最大1300mmある。背もたれは後方に倒すことができ、肘掛は起こすことができる仕様となっている。また、このローイングマシンの特徴として電動モータによるシートの昇降機能が挙げられる。これは、シートが昇降することで高齢者や車いすを使用している障害者の乗り降りを支援する機能である。シートの昇降は、最大上昇時で地上から500mm、最小下降時で300mmとなり、最小下降地点から最大上昇地点までの時間は約18secである。

図3にローイングマシンの寸法と、図4にシート

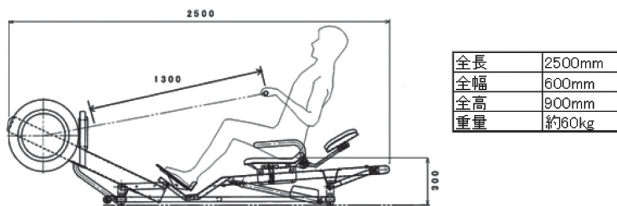
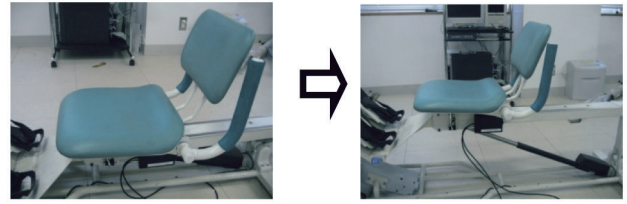


図3 ローイングマシンの寸法



(a)シート下降時

(b)シート上昇時

図4 シートの昇降機能

の昇降機能を示す。

2.3 ローイング運動

ローイングマシンはローイング運動を行うための装置である。このローイング運動とは、下肢部の屈伸運動と腕の屈曲、伸展運動を組み合わせたボートを漕ぐ動作のことである。図5にローイング運動の手順を示す。

・ローイング運動の手順

- ① スタート位置では、膝を屈曲させ、肘を伸展させる。
- ② フットレストに両脚で力かけることで、スライド座面が後方に移動し、膝の伸展が開始する。
- ③ 膝の伸展が終了するとスライド座面は停止し、肘の屈曲動作を開始する。
- ④ 両腕でハンドルが胸部に付くように、しっかりと引き込む。
- ⑤ ハンドルの引き込みが終了すると、肘の伸展を開始させると同時に、膝の屈曲動作を開始しスライド座面を前方に移動する。
- ①' 膝の屈曲が終了しスライド座面が前方で停止する。次のストロークを始めるスタート位置となる。この①から⑤の動作を繰り返すことでトレーニングを行う。

この①～①'までの過程を1ストロークとし、これを繰り返すことでローイング運動を行う。

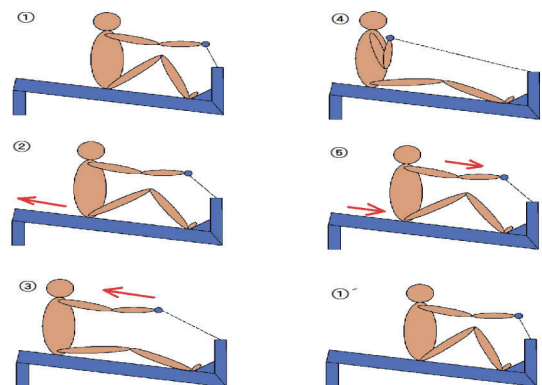


図5 ローイング運動の手順機能

3. 実験

3.1 実験装置

本実験では、座圧と足圧の装置を組み合わせた実験装置を構築し、計測を行った。まず、座圧を計測するために、ニッタ株式会社製のBIG-MAT（厚さ：0.1mm、センサ部サイズ：440mm×480mm）を使用した。このBIG-MATは、センサシートとセンサコネクタ、データ処理用のパソコンから構成されている。センサシートは、1枚のフィルムに4層からなる感圧導電性インクを印刷しているシートで、内側の各1枚ずつに行方向の印刷、列方向の印刷がされている。行と列の交わっている部分を感圧部分と言い、この感圧部分に圧力が加わると、圧力の量に応じて、この感圧導電性インクの抵抗値が変化する。この抵抗値の変化はセンサコネクタに伝えられ、ソフトウェア上に圧力の分布として表示される。F-SCANはセンサシートが足の形をしており、被験者の足のサイズに合わせるために切断できる以外は、BIG-MATと同様の計測原理である。図6にBIG-MAT、図7にF-SCAN、図8にBIG-MATのセンサ原理図⁽⁶⁾を示す。

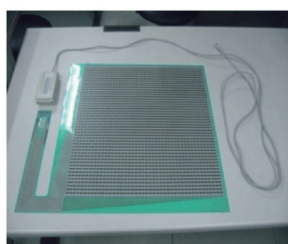


図6 BIG-MAT

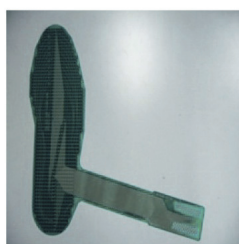


図7 F-SCAN

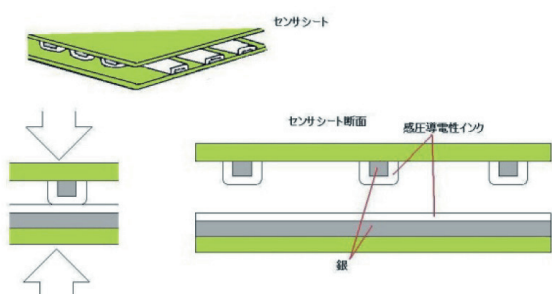


図8 BIG-MATのセンサ原理図⁽⁶⁾

ローイング運動時の被験者の心拍数を計測するために、ポラル社製のFT40を使用した。これでローイング運動時の平均心拍数と最大心拍数を計測する。構成内容は、心拍数計本体FT40（腕時計型）と心拍数のデータを本体に送るトランスミッターとベルトの3つである。トランスミッターを取り付け

たベルトを胸部に巻き、本体を腕に付けて計測を行う。図9にFT40本体とトランスミッターとベルト、図10に心拍数計FT40の装着図、図11に測定装置を取り付けたローイングマシンを示す。



図9 FT40



図10 FT40の装着図

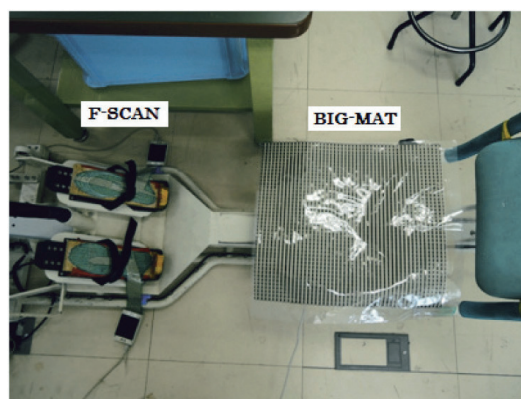


図11 計測装置を取り付けたローイングマシン

3.2 実験方法

実験は下記に示す2種類のローイング運動で計測を行なった。

- ・ハンドルの有無におけるローイング運動

ローイング運動は前述した図5における①～①'の過程を1ストロークとし、これを1分間に繰り返して行く回数で速度を表す。これをストローク速度と言い、単位を〔st/min〕で表す。そしてこのストローク速度を20st/minに固定し、ハンドルを握ってチェーンを引きながら足を伸ばし、また元に戻るという正しいローイング運動（以下、ハンドル有り」と表記する）のやり方で行うパターンと、ハンドルは握らず、足の動作だけのローイング運動（以下、ハンドル無し」と表記する）を行う2パターンで座圧と足圧、心拍数の計測を行なった。被験者の人数はいずれも健常な成人男性が7名、ローイング運動時間は5分間とする。図12にハンドル有り」とハンドル無し」の2パターンのローイングマシン使用図（左がハンドル無し、右がハンドル有り）」を示す。

- ・ストローク速度変化におけるローイング運動

ローイング運動のストローク速度を10st/min、



図12 ハンドル無し(左)と、ハンドル有り(右)のローイング運動時の姿勢

30st/minにした時の2パターンで計測を行う。計測するのは座圧と足圧のみ。被験者は前述の実験と同様の健常な成人男性が7名、ローイング運動時間は1分間とする。

4. 実験結果

4.1 心拍数の測定結果

被験者は皆、20歳の健常な男性である。被験者に対して実験の目的・内容を説明し十分なインフォームドコンセントが得られた後に実験を行なった。被験者7名の各自の身長と体重を下に示す。

表1 被験者の身長と体重

被験者名	身長 (cm)	体重 (kg)
A	170	58
B	167	55
C	173	62
D	174	65
E	173	68
F	169	75
G	169	62

表2に、被験者7名の、20st/minのストローク速度でローイング運動を5分間行った時の被験者の平均心拍数と最大心拍数を、ハンドル無しと、ハン

表2 被験者の平均心拍数と最大心拍数

被験者	1分間に20回(ハンドル有り)		1分間に20回(ハンドル無し)	
	平均心拍数	最大心拍数	平均心拍数	最大心拍数
A	154	176	102	106
B	112	117	98	104
C	155	173	98	109
D	96	107	71	84
E	109	123	84	87
F	105	110	99	102
G	122	130	104	109

単位は全て [bpm]

ドル有りの2パターンを示す。

20st/minのローイング運動で、ハンドル有りとハンドル無しの心拍数を比較すると、平均心拍数、最大心拍数ともに、ハンドル無しよりもハンドル有りの方が大きいことが分かる。ハンドル無しからハンドル有りへと変化させたときの平均・最大心拍数の平均増加量は、平均心拍数で31.5%、最大心拍数で33.3%となる。

4.2 座圧に関する測定結果

座面の圧力分布の測定結果は、代表1名の圧力分布を図13に示す。図13は、色の寒暖の変化で圧力分布が示されている。色が暖色になるほど圧力が高く、寒色になるほど圧力は低くなっている。灰色で塗られている部分が上半身の重心位置の軌跡である。図では右方向が被験者にとっての前、左が後ろ、上が左、下が右方向となっている。この圧力分布から上半身の重心の位置を求め、その重心の軌跡を図に示した。左上が、ストローク速度10st/min、右上がストローク速度30st/min、左下がストローク速度20st/min、左下がストローク速度20st/minのハンドルを使用しなかった場合(ハンドル無し)を表す。

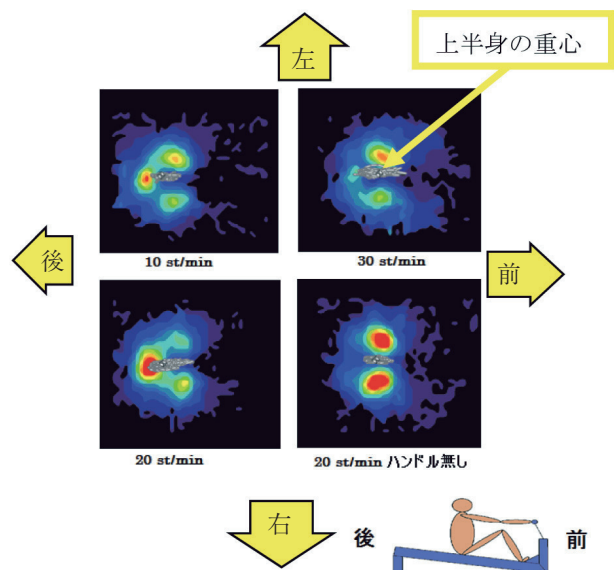


図13 測定した圧力分布の各結果

上半身の重心位置の軌跡をみると、各測定結果全てにおいて、左右方向には大きく振れていないことが分かる。また、ストローク速度が早くなるにつれて、前後方向への振れが大きくなっていることが分かる。

座面についての全体荷重のグラフは代表1名を図14~17に示す。図14~17は、ローイング運動を行っ

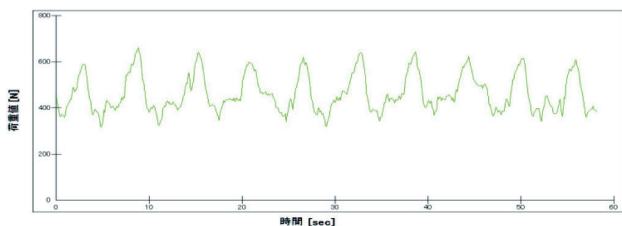


図14 ストローク速度10st/minでの全体荷重の時間変化

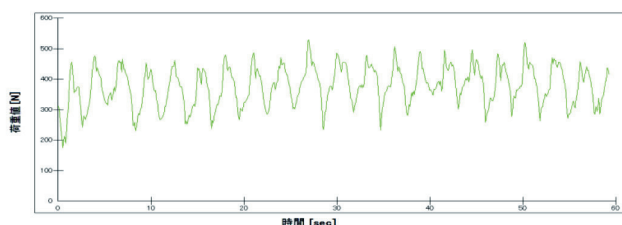


図15 ストローク速度20st/minでの全体荷重の時間変化

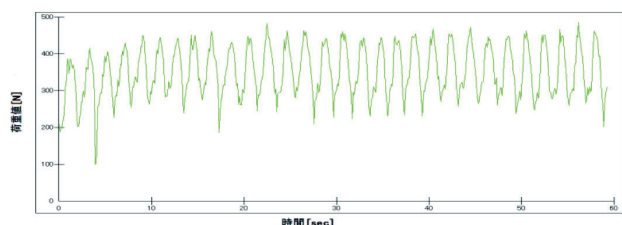


図16 ストローク速度30st/minでの全体荷重の時間変化

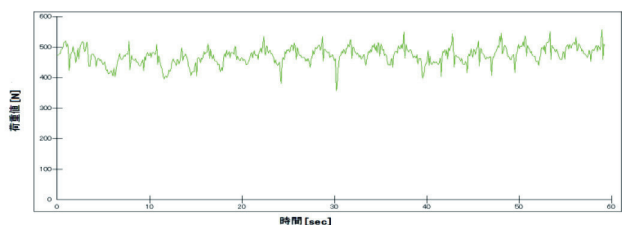


図17 ストローク速度20st/minハンドル無しでの全体荷重の時間変化

た時のシートにかかる圧力分布を測定し、測定した圧力分布を、接地した面積と乗じて、座面にかかる荷重を評価した。図14～17のグラフは、縦軸を全体荷重 (N)、横軸を時間 (sec) とした時間変化における座面の全体荷重変化を表す。

図14～17をストローク速度変化で見ると、速度が速くなるほど、振幅は短くなっていき、荷重の増減する範囲も低くなるのが分かる。ハンドルの有無で見た場合は、最大全体荷重に変化は無いが、ハンドル無しの方が最小全体荷重は高いことが分かる。表3に、①ストローク速度10st/min、②ストローク速度20st/min、③ストローク速度30st/min、④ストローク速度20st/minのハンドル無し（ハンドルを使用しなかった場合）でローイング運動を行った時

表3 座面にかかる平均全体荷重

被験者	①10st/min	②20st/min	③30st/min	④20st/min ハンドル無し
A	339.40	292.40	223.00	325.40
B	360.60	364.20	272.70	430.00
C	375.30	291.90	253.00	397.80
D	461.50	391.00	359.50	485.60
E	480.50	441.80	387.40	529.90
F	563.10	488.50	298.40	561.20
G	359.90	359.70	314.60	472.50

単位は全て〔N〕

の座面にかかる全体荷重を時間変化で平均をとった平均全体荷重を示す。

表3をストローク速度変化で見るとストローク速度が増加するほど座面にかかる平均全体荷重は減少することが分かる。ストローク速度10st/minからストローク速度30st/minにストローク速度を上げた時の平均全体荷重の平均減少量は-27.5%となる。また、表3をハンドルの有無による影響をみると、ストローク速度20st/minで、ハンドルを使ってローイング運動を行うより、ハンドルを使わない方が座面にかかる平均全体荷重が大きくなっているが、これは、ハンドルを使わない場合、手を頭の後ろに置き、上半身が起きるため、シートにかかる荷重が増加したと考えられる。

4.3 足圧に関する測定結果

足裏の圧力分布の測定結果は、図18に代表1名示す。上を正面方向、下を後ろ方向とし、右が右足、左が左足となる。座面の圧力分布と同様に、圧力の大きさを色の寒暖色の変化で圧力分布は表されている。灰色で塗られている部分が足圧の圧力中心位置の軌跡である。また、全ての圧力分布は1分間のローイング運動における結果である。

ストローク速度変化における圧力中心位置の軌跡の変化は見られない。どのストローク速度でも、踵を起点に圧力中心位置が前後に動いており、つま先までは及んでいない。また、ストローク速度20st/minでハンドル無しでは、圧力中心位置の軌跡が左

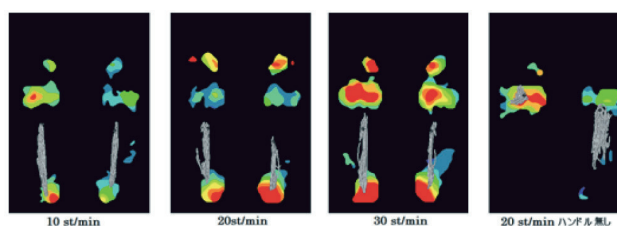


図18 足裏の圧力分布の測定結果

右で大きく違っており、どちらもつま先よりの圧力中心位置の軌跡となっている。

足裏の全体荷重のグラフは代表1名を図19～22に示す。図19～22は、座面の全体荷重のグラフと同様の方法で、左右の足裏にかかる荷重を評価した。図19～22のグラフは、縦軸を全体荷重(N)、横軸を時間(sec)とした時間変化における足裏の全体荷重変化を表す。緑のグラフ線が右足を、赤のグラフ線が左足を示す。

図19～22を見ると、ストローク速度10st/minは左足に右足の倍の荷重がかかっており、ストローク速度20st/minでは左右の荷重差が縮み、ストローク速度30st/minでは左右の足の裏にかかる荷重は均等であった。ストローク速度10st/minでの左右の足の裏にかかる荷重の差は被験者7人中3人にその傾向が見られたが、ストローク速度30st/minで

表4 足裏にかかる平均全体荷重

被験者	測定した足	①10st/min	②20st/min	③30st/min	④20st/min ハンドル無し
A	右足	71.87	90.92	200.04	37.09
	左足	83.94	93.40	226.62	71.04
B	右足	75.60	56.85	133.52	20.93
	左足	57.47	213.08	144.46	24.15
C	右足	105.63	183.37	280.27	39.07
	左足	109.00	109.34	281.86	30.36
D	右足	45.53	140.89	202.99	46.42
	左足	59.78	150.24	138.77	22.93
E	右足	61.37	182.30	157.88	34.13
	左足	46.53	200.58	194.89	78.43
F	右足	69.69	160.06	325.67	43.67
	左足	121.88	125.12	260.17	35.80
G	右足	56.53	77.60	143.51	37.71
	左足	75.23	89.82	220.19	57.75

単位は全て [N]

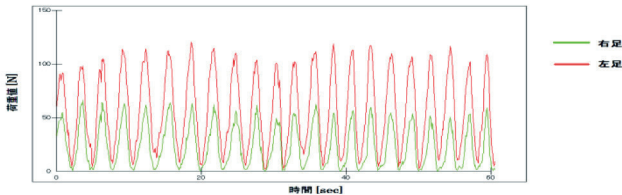


図19 ストローク速度10st/minでの全体荷重の時間変化

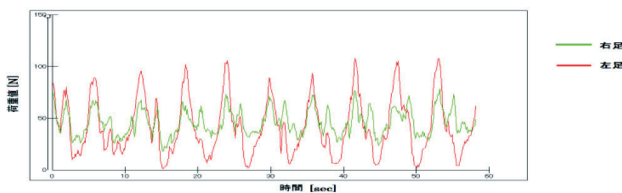


図20 ストローク速度20st/minでの全体荷重の時間変化

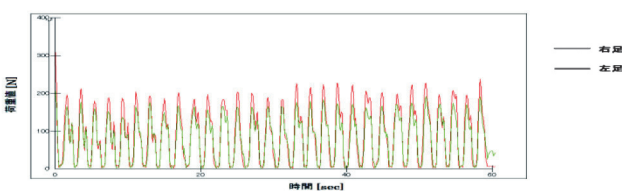


図21 ストローク速度30st/minでの全体荷重の時間変化

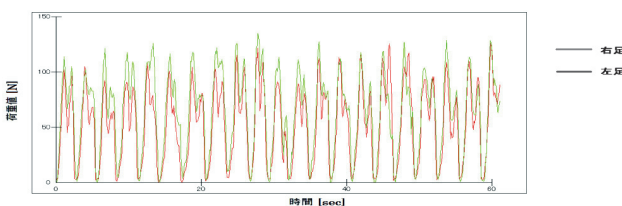


図22 ストローク速度20st/minハンドル無しでの全体荷重の時間変化

の左右の足の裏にかかる荷重は、被験者全員が均等であった。表4に、①ストローク速度10st/min、②ストローク速度20st/min、③ストローク速度30st/min、④ストローク速度20st/minのハンドル無しでローイング運動を行った時の足裏にかかる全体荷重を時間変化で平均をとった、平均全体荷重を示す。

測定結果にバラツキはあるものの、全体的な傾向としては、30st/min、20st/min、10st/min、20st/minのハンドル無しの順で平均全体荷重は大きくなっている。また、左右の平均全体荷重の差も個々にバラツキがある。

5. 考察

心拍数の測定結果に関しては、最大心拍数は、 $220 - \text{年齢} = \text{最大心拍数}$ より⁽⁷⁾、被験者は皆20歳として、 $220 - 20 = 200\text{bpm}$ (beat per minute)となる。運動強度約55%～90%が有酸素運動の基準⁽⁷⁾であるため、約110bpm～180bpmが有酸素運動の目安となる。表2を見ると、ハンドル有りで行った場合、半数以上の4名が有酸素運動を行えているが、ハンドル無しの場合、全員が有酸素運動の適正心拍数の範囲外である。つまり、ハンドルの有無は心拍数に大きく影響を及ぼすことが分かる。また、ローイング運動時の心拍数に個人差が顕著に見られた。被験者(G)は運動部に所属しているが、その他の被験者の心拍数と比べると低くなっていることが分かる。

次に座圧の測定結果に関しては、図13を見ると、

ローイング運動の速度が上がったとしても、重心は左右にぶれないことが分かる。つまり、実験に使用したローイングマシンは、10st/min～30st/minの範囲では、上半身の重心は左右方向にぶれにくいと考えられる。また実験に際し、被験者に30st/minという速度でのローイング運動の感想を聞いたところ、かなりきつく、長く続けるのは困難であるとの回答が多かった。そのため、30st/minのストローク速度は健常な成人男性でもきつく感じられるほどの速さであると考えられる。高齢者が30st/min以上のストローク速度でローイング運動を行うのは考えにくいことから、本実験で使用したローイングマシンを高齢者が使用しても、上半身の重心の位置にぶれは見られにくいと考えられる。

最後に足圧の測定結果に関しては、表4を見ると、30st/min, 20st/min, 10st/min, 20st/minのハンドル無しで平均全体荷重は大きくなっているため、ストローク速度に比例して平均全体荷重は増加すること、また、ハンドルを使用しない場合、平均全体荷重は減少することが判った。つまり、足に対する負荷は、ハンドルを引いた時の負荷変化と、ストローク速度変化によって増減させることができる。図18を見ると、ローイング運動は踵を起点に行われていることがわかる。実験中、足の甲を固定するベルトが緩むことがあり、この原因が、踵を支点にしたこの原理であると考えられる。図19～22を見ると、ストローク速度が速くなるにつれて左右の足の裏に掛かる荷重は均等になっていっていることが分かる。この結果から、左右の足に均等に負荷をかけるためにはある程度のストローク速度が必要とする傾向があると考えられる。

6. 結言

健常者7名によるローイング運動時の心拍数と座圧、足圧を計測した結果、以下のことが明らかになった。

1. 今回実験に使用したローイングマシンでローイング運動を行う際、ストローク速度が10st/min～30st/minの範囲であるなら、上半身の姿勢は左右にぶれることは無いことが分かった。つまり、シートの形状やハンドルの位置に問題は無いと考えられる。
2. ローイング運動時の心拍数の個人差が大きく、有酸素運動の範囲外の数値を示す被験者も存在した。改善方法としては、ストローク速度を上げれば心拍数が上がることは予想できるが、被

験者からは、10st/minでは遅すぎるため、ローイング運動を行いにくい、30st/minでは早すぎて1分以上、ローイング運動を行うのがきつい、といった意見があった。すなわち、心拍数を調整するためには少なくとも10st/min～30st/minの範囲でのストローク速度の指定が必要となる。その場合、細かいストローク速度の調整が必要となることが分かる。また左右の足に均等に負荷をかけるにはある程度のストローク速度が必要である。そこで、心拍数に大きな影響を及ぼすハンドルの負荷を調節できる機能を設けることが望ましいと考えられる。

3. ストローク速度を速くすると、ローイング運動中に足の甲を固定するベルトが緩んでしまう。改善方法としては、今回の実験に使用したローイングマシンは、足の甲をベルトで固定する方法をとっていた。しかし、その固定方法では不十分であるため、ボルトなど締結要素を用い、強い力が加わっても固定できる方法を用いることが望ましいと考えられる。

姿勢や足にかかる荷重に関しては特に問題は見られなかったが、有酸素運動に関しては今のままの機能では不十分であり、上記のような改善が必要であると考えられる。また、今回計測を行ったのは健常な成人男性だったため、今後は高齢者での実験が必要である。

参考文献

- (1) 内閣府「平成23年版高齢社会白書」2011 P2-3
- (2) 村山正博, 太田寿城, 小田清一 朝倉書店「有酸素運動の健康科学」1991
- (3) 山崎 元, 大西祥平 他 文光堂「慢性疾患と運動-QOL向上の具体策」1994 P25
- (4) 宮脇和人, 巖見武裕 他「機能的電気刺激を用いたローイングマシンの開発」日本機械学会論文集 Vol.74, No.739, 2008 P254-256
- (5) 巖見武裕, 宮脇和人 他「高齢者用ローイングマシンの開発」ライフサポート Vol.21, No.2, 2009 P63-69
- (6) 引用元URL
http://www.nitta.co.jp/product/mechasen/sensor/pa_bigmat_hugemat.html
- (7) 栗原 敏, 村山正博, 大島 襄 朝倉書店「スポーツ医学の基礎」1993 P122-123