

平成 21 年 6 月 22 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
研究期間：2005-2008
課題番号：17500425
研究課題名 (和文) レジスタンストレーニングの簡便的筋力・筋パワー評価法の確立と処方及び IT 活用
研究課題名 (英文) A simple evaluation method of muscle force and power in the resistance training and utilization for IT
研究代表者 若吉 浩二 (WAKAYOSHI KOHJI) びわこ成蹊スポーツ大学・スポーツ学部・教授 研究者番号：30191729

研究成果の概要：レジスタンストレーニングは、目的に応じた負荷を設定するため、最大挙上重量 (1RM) の測定を行う。1RM の推定方法は反復回数推定法を用いるが、危険性が高い。そこで、本研究では重量と挙上速度の関係から 1RM 推定が可能な簡便的スピード推定法を生み出した。この方法は安全な推定法であり、老若男女に使用可能である。また、筋力・筋パワーの関係から、より安全に精度の高いトレーニング処方が可能となった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	2,200,000	0	2,200,000
2006 年度	500,000	0	500,000
2007 年度	500,000	150,000	650,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,700,000	300,000	4,000,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学，スポーツ科学

キーワード：レジスタンストレーニング，筋力，筋パワー，トレーニング処方

1. 研究開始当初の背景

レジスタンストレーニングとは、筋(肉)に一定以上の強さの抵抗(レジスタンス)を与えることにより、筋活動力を高める運動のことである。具体的な目的として、最大筋力、筋持久力及び筋パワーの向上、そして筋肥大が挙げられる。実際のトレーニングには、それらの目的別に、重量、反復回数やセット数を個人の能力に合わせて処方しなければならない。

レジスタンストレーニングの処方を安全に、正確に行うためには、必ずその種目の最大挙上重量(One repetition maximum, 1RM重量)を求めなければならない。例えば、最大

筋力の向上には 1RM重量の85%相当の重量で3～5回繰り返しのトレーニングが要求される。このように 1RM重量は、レジスタンストレーニングの負荷設定において欠かすことのできない数値である。しかしながら、1RM重量の決定には、超最大負荷をかける、もしくは疲労困憊して挙上できなくなるまで挙上動作を繰り返す必要があり、怪我を起す危険性が大変高く、時間も要す。まして中高齢者を対象に上記の方法を用いるべきでない。

そこで、申請者は、最近の研究成果において、この 1RM重量を、安全に、簡便に推定することに成功した。トレーニング種目は、上

肢の主運動によるものである。その推定方法を、簡便なスピード推定法と名付けた。重量（負荷）と挙上速度は直線の関係を示し、尚且つ、1RM時の挙上速度は、個人間の筋力・筋パワーの高低に係わらず、ほぼ同値を示した。これは、その他のトレーニング種目においても1RM重量の挙上速度がほぼ一定になると考えられる。

この方法を活用すれば、安全に簡便に1RM重量が推定でき、容易に個人の能力に合致した重量を設定することができる。また、挙上速度と重量の関係から筋パワー（筋パワー＝重量×速度）の評価が可能となり、個々にトレーニングメニューが処方できる。さらには、速度の測定がデジタル化されているので、インターネット（IT）を活用したレジスタンストレーニングの評価とその処方も実現する。

2. 研究の目的

よって、本研究の目的は、ITを活用したレジスタンストレーニングのシステムを構築するために、下記の問題点を解決することにある。

- (1) 数種類の代表的なウェイトスタック式レジスタンスマシン種目（体幹、上肢および下肢）での、1RM時の速度を決定し（多点速度推定法の確立）、各個人の筋力・筋パワーを評価する。
- (2) 重量と筋パワーの関係から、目的に応じたオーダーメイドのレジスタンストレーニングプログラムを処方し、トレーニング効果を評価する。
- (3) 上記1)と2)の成果を中高齢者に活用する。
- (4) 上記の研究成果を活かすべく、ITを活用したシステムの構築を目指す。

3. 研究の方法

(1) 被験者

被験者は、女子大学生24名（以下女子学生群）、60歳以上の男女8名（以下高齢者群）であった。各被験者の身体特性は、表1に示す通りである。被験者には実験の目的、方法及び実験に伴う危険等について十分な説明を行い、実験に参加する同意を得た。

表1 被験者の身体特性

被験者	n数	年齢	身長(cm)	体重(kg)	除脂肪体重(kg)
女子学生群	24	21.0±1.1	158.8±4.7	53.3±6.2	39.7±3.3
高齢者群	8	65.0±4.3	162.3±8.2	60.8±9.5	46.5±7.7

(mean±S.D.)

(2) 測定項目

本実験で用いたトレーニングマシンはノーチラス社製ウェイトスタック式マシンであ

る。測定で実施したトレーニング種目は体幹部の運動としてアブドミナル、ローワーバックの2種目、下肢の運動としてレッグ・エクステンション、レッグ・プレスの2種目、上肢の運動としてチェストプレスの合計5種類のトレーニングマシンを用いた。5種類のトレーニングマシンで、低負荷から挙上できなくなるまで試技を行う直接測定法によって1RMを求めた。また各重量において最大努力で1回挙上し、その際に、滑車部分に取り付けたセンサーによって、各重量での毎0.1秒の挙上距離を測定した。なお、種目ごとに被験者の体格に合わせて最適姿勢で運動ができるように、座席及び背当ての調節をした。

(3) 挙上速度の算出方法

挙上時の速度が常に一定ではないため、各重量で毎0.1秒の挙上距離と速度変化を調べた。図1は女子学生群の被験者No.4のチェストプレスにおける、重量ごとの時間と挙上距離の関係、図2は女子学生群の被験者No.4のチェストプレスにおける、時間と挙上速度の関係を示している。

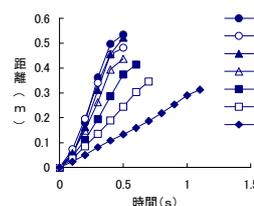


図1 時間と挙上距離の関係
チェストプレス

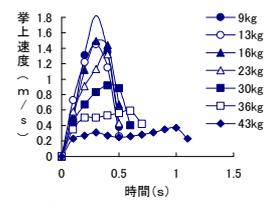


図2 時間と挙上速度の関係
チェストプレス

図2に見られるように、挙上速度の変化は多様である。そこで、各重量における時間と挙上距離の関係を調査し、速度の算出方法については、原点を通る回帰直線の傾きを速度とした。

(4) パワー曲線と最大発揮パワーの推定法

x軸を挙上重量、y軸を挙上速度とすると、回帰直線式は次のようになる。

$$y = -ax + b \dots (1)$$

パワー (y') は、構成要素である筋力と速度の積から求められるので、式(1)より以下の式で表される。

$$y' = x (-a) + b \dots (2)$$

最大発揮パワー (peak power 以下 P_{peak}) を求めるには、式(2)を用いて次のようになる。

$$y' = -ax^2 + bx$$

$$y' = -a(x^2 - bx/a)$$

$$y' = -a(x - b/2a)^2 + b^2/4a \dots (3)$$

よって、式(3)より重量 x が $b/2a$ となる時、

yは最大値となる。つまり、挙上重量が $b/2a$ の時に P_{peak} となり、 $b^2/4a$ が P_{peak} として得られることとなる。また、 P_{peak} 時の重量 (load of peak power 以下 L_{pp}) を算出し、その% 1RM (以下% 1RM_{pp}) を求めた。図3は被験者 No.4 のチェストプレスにおける、重量、速度及びパワーとの関係、 P_{peak} 及びその時の L_{pp} と% 1RM_{pp} を示す。

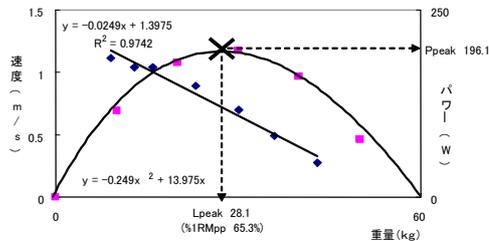


図3 挙上重量と挙上速度の関係、パワー曲線及び最大発揮パワーの推定

(4) 除脂肪体重と 1 RM の関係

体重から脂肪体重を引いた除脂肪体重 (lean body mass 以下 LBM) と 1RM の間には比例の関係が見られると考えられる。そこで、x 軸を LBM, y 軸を 1RM とした回帰直線式 ($y=ax+b$) を各群の種目ごとに求めた。

表2 レッグ・プレス

被験者	回帰直線式	相関係数	データ数
No.1	$y=-0.0222x+2.2957$	0.981**	5
No.2	$y=-0.0017x+0.5085$	0.990***	7
No.3	$y=-0.0059x+1.0622$	0.976***	6
No.4	$y=-0.0069x+1.4083$	0.997***	6
No.5	$y=-0.0093x+1.6922$	0.991***	8
No.6	$y=-0.0059x+1.12$	0.974***	6
No.7	$y=-0.0081x+1.2365$	0.983***	6
No.8	$y=-0.0049x+0.8426$	0.992***	5
No.9	$y=-0.0137x+1.5691$	0.979**	5
No.10	$y=-0.0031x+0.9323$	0.989***	9
No.11	$y=-0.0075x+1.3025$	0.991***	8
No.12	$y=-0.0021x+0.5771$	0.968***	9
No.13	$y=-0.0109x+1.9107$	0.981***	7
No.14	$y=-0.0057x+1.1928$	0.979***	6
No.15	$y=-0.0128x+1.7063$	0.983***	6
No.16	$y=-0.0138x+1.5422$	0.974**	5
No.17	$y=-0.0173x+1.6904$	0.995***	5
No.18	$y=-0.0056x+1.2891$	0.985***	11
No.19	$y=-0.0142x+1.6009$	0.991***	8
No.20	$y=-0.0035x+0.6986$	0.978***	7
No.21	$y=-0.0107x+1.358$	0.988***	6
No.22	$y=-0.0076x+1.3452$	0.984***	9
No.23	$y=-0.0018x+0.6795$	0.962***	12
No.24	$y=-0.0077x+1.3647$	0.983***	9
mean±S.D.	$0.983±0.008$		
	(***p<0.001 **p<0.01)		

4. 研究成果

(1) 挙上重量と挙上速度との関係

表2は、女子学生のレッグ・プレスにおける各個人の挙上重量と挙上速度の回帰直線式の相関関係を示す。全被験者の挙上重量と挙上速度の関係は、全てのマシンにおいて、

有意に高い相関関係を示し、顕著に回帰直線上に位置する結果となった。

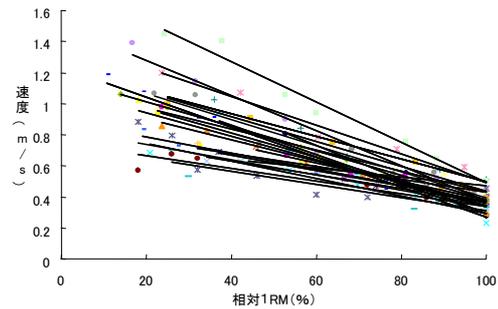


図4 相対1RMと速度の関係
ローワーバック

図4は、女子学生群のローワーバックの% 1RM_{pp} と速度の関係を示す。女子学生群、高齢者群の全てのマシンにおいて、低強度負荷では速度に差が見られた。図5, 6は女子学生群と高齢者群の傾き、切片の平均を示す。2群間において傾き、切片に有意な差は見られなかったものの、高齢者群が、傾きが強く、切片の高い傾向となった。

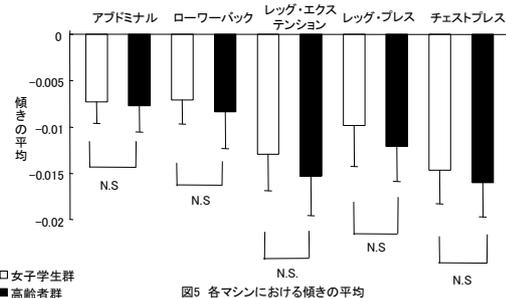


図5 各マシンにおける傾きの平均

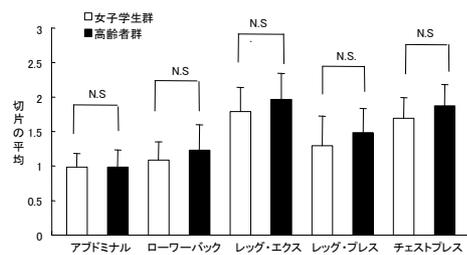
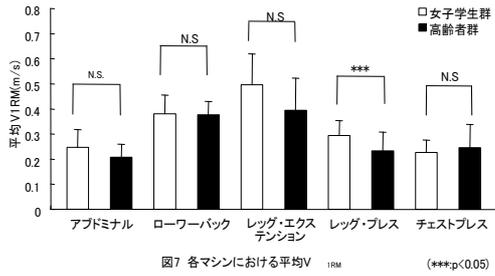


図6 各マシンにおける切片の平均

(2) V_{1RM} 速度の決定

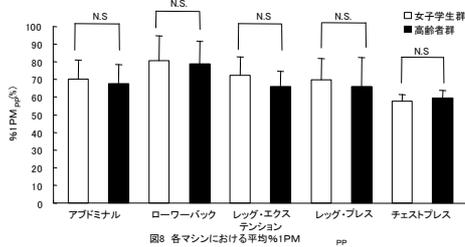
図7は各マシンにおける2群の平均 V_{1RM} を示す。レッグ・プレスを除く4種類のマシンでは2群間に有意な差は見られなかった。しかし、レッグ・プレスにおいて、2群間に有意な差が見られた。レッグ・エクステンションは、2群間に有意な差は見られなかったが、2群の平均 V_{1RM} の差は5種目で最も大きく0.1

m/s の差があった。



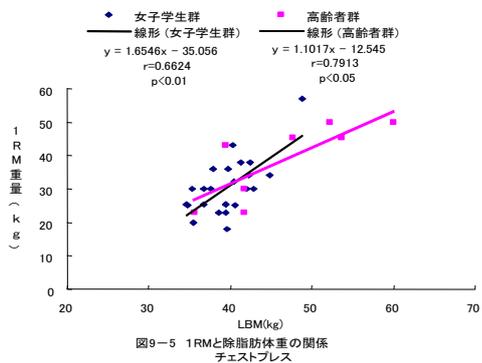
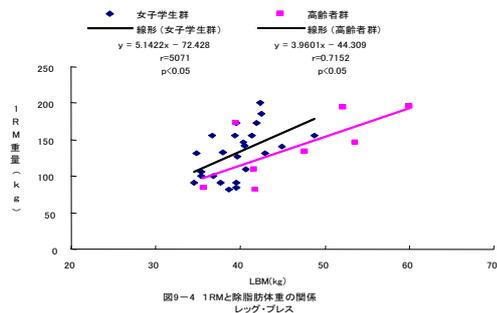
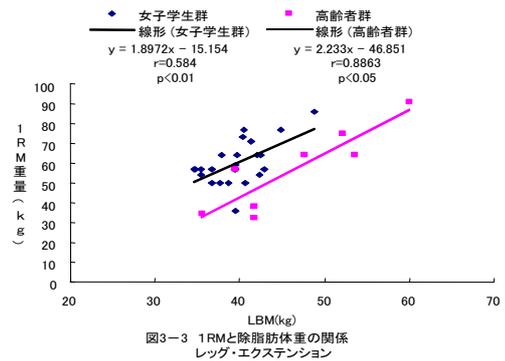
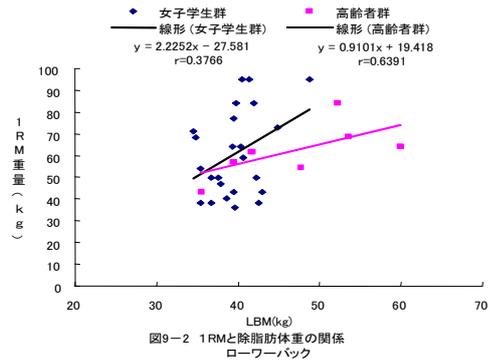
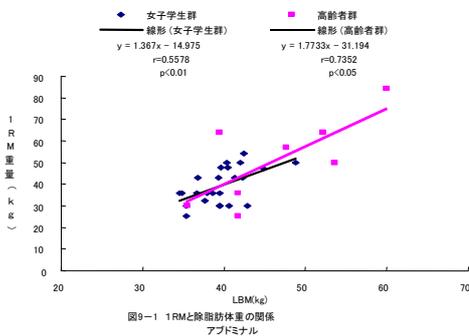
(3) P_{peak} , L_{pp} 及び% $1RM_{pp}$

図8は2群の各マシンにおける平均% $1RM_{pp}$ を示す。2群間の全てのマシンにおいて% $1RM_{pp}$ に有意な差は見られなかった。しかし、チェストプレスに比べて、他の4種目は% $1RM_{pp}$ にばらつきが見られた。



(4) 除脂肪体重と1RMの関係

LBMと1RMの関係を探るため、x軸をLBM、y軸を1RMとした回帰直線式($y=ax+b$)を各群の種目ごとに求めた。図9-1~5は、女子学生群と高齢者群の1RMとLBMの関係を示す。1RMとLBMの関係は両群ともローワーバック以外の種目では有意に高い相関関係を示し、顕著に回帰直線上に位置した。



(5) レジスタンストレーニングにおけるcritical power及びcritical rest timeの決定

図10は、被験者No.5の T_{lim-RT} と W_{lim-RT} の関係(図8A)及び W_{lim-RT} と P_{max} の関係を示している。一定の重量を用いて、休息なし、5秒

休息、10 秒休息、15 秒休息の4種類の運動を疲労困憊まで反復したときの T_{lim-RT} と W_{lim-RT} の関係を示す回帰式は、全被験者において有意な相関関係を示し、それらは直線の関係にあった。

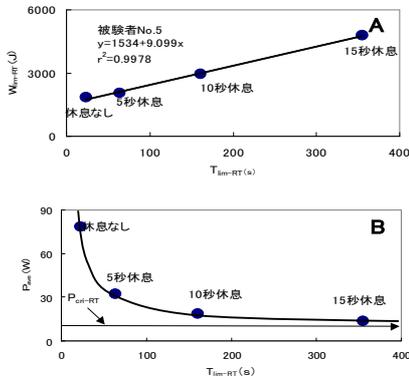


図10.レジスタンストレーニングにおけるcritical powerの決定法 (被験者No.5) 持続時間と総仕事量の関係(A) 持続時間と平均発揮パワーの関係(B)

図11は被験者No.1の T_{cri} の決定法を示す。 W_{lim-RT} と T_{lim-RT} の回帰式の傾きで表される P_{cri-RT} は、一定重量、反復回数及び休息時間の組み合わせにおいて、理論的に疲労困憊に至ることなく運動を繰り返すことのできる最大レベルの平均発揮パワーである。 P_{max} とその挙上時間(T_E)を乗じたものは、 P_{cri-RT} に T_E と休息時間(T_R)を一对とした単位時間(T_E+T_R)を乗じたものと等しくなる。上記の方法から求めた休息時間(T_R)が、一定の負荷でレジスタンストレーニングを行う場合、疲労困憊に至ることなくその運動の反復を可能とする休息時間(T_{cri})となる。表3に各被験者の使用した重量、%1RM, P_{cri-RT} , P_{max} 及び T_{cri} を示す。

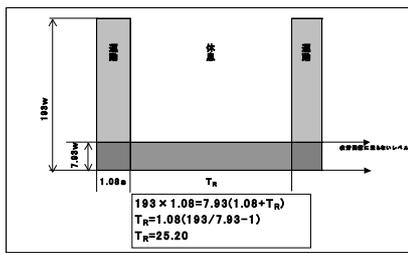


図11.critical rest timeの決定法 (被験者No.1)

表3.使用重量、%1RM, Pcri-RT, Pmax及びTcri

被験者	使用重量 (kg)	%1RM (%)	P_{cri-RT} (w)	P_{max} (w)	T_{cri} (s)
No.1	52.3	88.0	7.9	193	25.2
No.2	81.5	90.0	11.3	353	28.2
No.3	73.3	86.8	12.7	300	22.2
No.4	75.5	87.1	11.0	327	27.3
No.5	57.0	84.9	9.1	190	23.5
No.6	105.0	86.8	22.0	556	19.8
No.7	68.5	85.0	17.0	311	19.6
No.8	71.0	88.5	12.8	334	24.5
mean±SD.	73.0 ±15.8	87.1 ±1.7	13.0 ±4.6	320.5 ±113.7	23.8 ±3.2

(6)至適休息時間の推定

図12に至適休息時間の推定法の一例として、被験者No.1が88%1RMの負荷で10回反復する場合の至適休息時間の推定法を示す。反復回数と速度及びパワー変化率の関係(図12B)から、回帰直線式($y=ax+b$)を求め、 x に10を代入することによって、休息時間と速度及びパワー維持率の関係(図12A)を求めた。

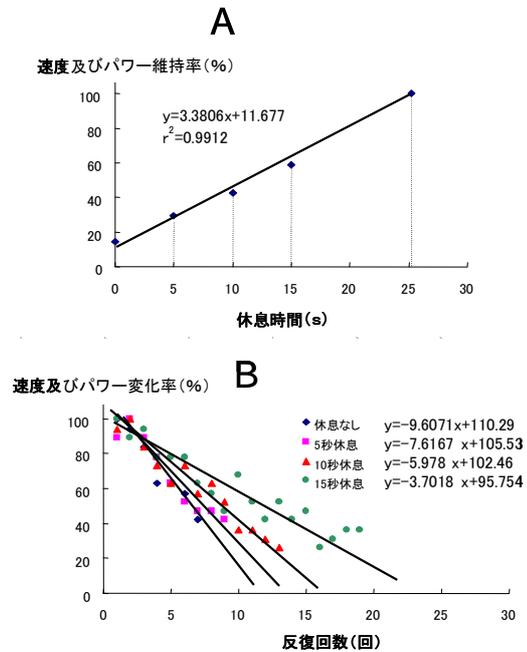


図12.被験者No1が88%1RMにおいて、10回反復する場合の休息時間と速度及びパワー維持率の推定法

各被験者の反復回数と挙上速度及びパワー変化率の関係からそれぞれの回帰直線式を求め、前述の方法を用いて各被験者が85%1RM相当の重量を使用した場合の、2回から20回反復時における休息時間と挙上速度及びパワー維持率の関係を求めた(図13)。

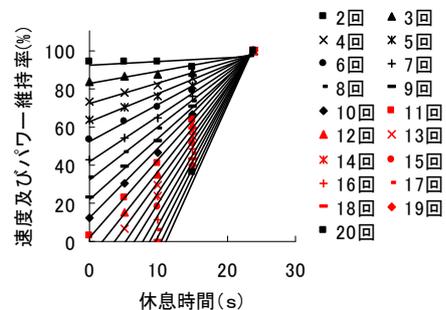


図13.85%1RM相当の負荷における休息時間と挙上速度及びパワー維持率の関係(全被験者の平均)

(7) IT を活用したシステムの構築

上記の研究成果を活用し、レジスタンストレーニングにおける簡便的スピード推定法による 1RM 重量の推定、及びそれに基づいたオーダーメイドプログラムの作成について検討を行った。

図 14A は、個人情報である氏名、性別、年齢及び除脂肪体重、そしてトレーニング種目である。それらを入力し、図 14B では、個人情報を元に、簡便的スピード推定法を行うための最適なテスト重量が示され、それぞれの測定結果を入力することで、1RM 及び最大発揮パワーの推定が行える。そして、それぞれのトレーニング目的に合致した重量を推定することが可能となる。

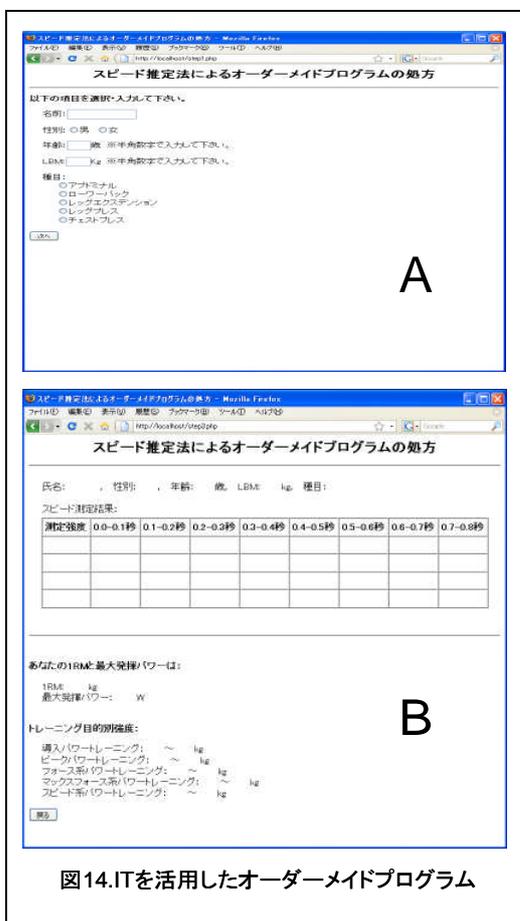


図 14.IT を活用したオーダーメイドプログラム

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

1) 関口愛子, 若吉浩二: レジスタンストレ

ーニングにおける挙上重量と反復回数、動作速度の関係、びわこ成蹊スポーツ大学研究紀要, 第 5 号, 95-100, 2008

[学会発表] (計 3 件)

1) 大西史晃, 関口愛子, 若吉浩二: 筋パワーの左右差の簡便的測定方法の検討, 日本トレーニング科学学会, 2007 年

2) 関口愛子, 大西史晃, 若吉浩二: ベンチプレスにおける挙上重量と反復回数及び動作速度の関係, 日本トレーニング科学学会, 2007 年

3) 若吉浩二 (共同) レジスタンストレーニングにおける最大挙上重量の簡便的推定法の検討第 60 回日本体力医学会, 2005 年

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

・特許等出願番号: 特願 2004-314560 号, 出願日: 2004 年 10 月 28 日, 発明の名称: ウェイトスタック式トレーニングマシンを備えたトレーニングシステム、そのシステムで用いられるトレーニング支援装置、最大挙上重量の推定方法及びトレーニングメニューの作成方法

6. 研究組織

(1) 研究代表者

若吉 浩二 (WAKAYOSHI KOHJI)

びわこ成蹊スポーツ大学スポーツ学部
教授

研究者番号: 30191729