

人文·社会·自然科学篇

本学学生を対象とした呼吸循環機能の測定の特徴

—— 最近の11年間の測定結果から ——

神 山 雄 一 郎

The measurements of cardiorespiratory function in GPWU students

—— Results in the last 11 years ——

Yuichiro KAMIYAMA

はじめに

本学が1980年に開学してから31年が経過しようとしている。その間、体育実技の履修形態は1年半の履修から1年へ、そして、その1年も前期、後期別の履修へと変わってきた。しかし、体育実技を通して一貫して変わらず努めたことは、学生の健康状態の把握である。中でも呼吸循環機能の測定は、最も重要項目と位置づけている。呼吸循環機能の改善とは、エアロビック作業能力を向上させることであり、健康度の上昇を表す指標となる。本学では、先ず、体力測定の種類として12分走を実施し、その中で呼吸循環機能が低下あるいは低下傾向と思われる者に対して“自転車漕ぎ”と称した測定を行ってきた。今回はこの30年近く実施してきた自転車漕ぎの最近11年間の結果をまとめ、検討を加えた。11年としたのは、この年から心電計が新しくなり、心電図の測定方法が変わったことが主な要因である。

最近の研究^{1,2)}では、直接法で最大酸素摂取量を測定するのではなく、無酸素性作業閾値に相当する乳酸閾値、換気閾値、二重積屈曲点といったポイントを求め、そこから健康度を見つめる方向が主流になってきている。これらの方法は、身体的負担が少なく高齢者に対しても測定できることから、生活習慣病対策としての利用が目的である。この点では、今まで実施してきた自転車漕ぎも目指す方向は同じである。今後は更に、簡便に誰でも気軽にできる方法が検討されていくことであろう。

本学の特徴は、運動部に所属して活動している者が極端に少ないことであり、学生の呼吸循環機能レベルは決して高いとは言えない。このような集団を対象とした研究は皆無であり、非常に貴重なデータということが出来る。今後の研究活動にも大いに役立つと考えられる。

方 法

1. 対象者

今回の対象者は、平成13(2001)～23(2011)年度までの群馬県立女子大学体育実技受講者のうち体力測定の一つである12分走の値が平均以下であった者、及び2回目の12分走測定で前回の値より低下した者、延べ1,514名である。年齢は、18歳564名、19歳617名、20歳233名、21歳72名、22歳以上28名、最高齢は56歳(1名)である。なお、これは体育実技履修者の約半数に相当している。

2. 測定内容

(1) 固定負荷法における心拍数(以下、HR)の測定

測定は、自転車エルゴメーターを使用し、固定負荷法で1分間に50回転のリズムで6分間のペダリングを行い、その後10秒の休憩を挟み20秒間の最大努力ペダリングを行った。固定負荷は1.5kpを基本とし、この負荷では軽すぎると判断した数名に対しては2.0kpで行った。心電図は、目視による監視を測定開始から終了まで行い、安静時(以下、restHR)、ペダリング開始直後(以下、startHR)、1分、2分、3分、4分、5分、6分、20秒間の最大努力時(以下、PeakHR)、回復1分、2分、3分時に記録した。

最大酸素摂取量の推定にあたってはP-O Åstrandの換算表³⁾を使用した。補正のための係数は、Åstrandによる年齢を基準としたもの⁴⁾とPeakHRを基準としたもの⁵⁾の両方を求め、その後、それぞれに対する体重当たりの最大酸素摂取量を算出し比較を行った。

測定にはモナーク社製自転車エルゴメーターを使用し、心電計は日本光電製医用テレメータWEP4202を使用した。測定日はあらかじめ対象者に伝え、1日に3～4名ずつ実施した。

(2) 12分走の測定

体育実技履修者全員に対して体力測定の一項目として12分走を実施した。授業履修者を2グループに分け、測定者と被測定者の役割を交替して行った。

12分走とは、12分間に最大努力でどれだけの距離を走れるかを測定するものである。

(3) 測定時期

固定負荷法におけるHRの測定は、平成13年度は5月20日～7月6日(前期)、10月23日～平成14年1月24日(後期)に実施した。平成14～22年度も、ほぼ同じ時期に実施した。平成23年度は前期のみ、しかも5月17日～6月24日までとなった。この年の測定対象者はもう少しだが、節電対策で、やむを得ず対象者を縮小した。

12分走は、前後期とも、授業開始から2～3週目に実施した。ただし、雨天の場合は次週に延期した。当日、体調不良の者や欠席者に対しては、個人の都合に合わせて体調良好時に個別に行った。

(4) 統計処理

測定したデータの平均値および標準偏差を算出した。また必要に応じて、その平均値同士の有意差検定を、Pearsonの相関係数を算出しFisherの相関係数有意水準表を用いて行った。

結 果

1. 年度別平均値

表1は、平成13～23年度までの測定人数と主な測定項目の年度別平均値を示している。平成23年度は前期のみの結果であり、測定人数は57名と他の年度の半数以下となった。

身長、体重は、平成15年をピークに減少傾向を示している。BMIと%Fatは、たまに低い年度はあるが、平均値ではあまり目立った傾向は認められなかった。12分走は、平成14年の1,831mが最高で、17年より1,700m台と低くなっている。この年から対象とする12分走値を、それまでの2,000m以下から1,950m以下に下げたことが主な原因である。23年は対象者を絞ったため、更に低くなった。なお、履修を途中で取りやめた等の理由で、自転車漕ぎは実施したが12分走を実施しなかった者は11年間で22名いた。

表2は、平成13～23年度までの年度別最大値と最小値を示したものである。

身長は、最高177.2cm(H17)、最低138.0cm(H15)、体重は、最高95.0kg(H23)、最低28.6kg(H15)である。BMIの最高は37.3(H14)、最低は11.5(H22)であり、%Fatの最高は60%(H14)、

表1 対象者の年度別人数とその身体的特性

	n(人)	Age(yrs)	Height(cm)	Weight(kg)	BMI	%Fat(%)	restHR(b/m)	V6minHR(b/m)	peekHR(b/m)	12min.run(m)
		average±SD	average±SD	average±SD	average±SD	average±SD	average±SD	average±SD	average±SD	average±SD
H13	190	19.5±2.53	158.5±5.20	53.6±7.91	21.3±2.59	28.3±5.71	78±11.9	150±16.9	172±12.8	1821±189.1
H14	190	19.1±1.04	158.4±5.09	55.3±8.54	22.0±3.34	29.6±6.72	77±10.7	152±19.6	174±14.3	1831±207.3
H15	183	19.1±1.84	158.9±5.71	55.7±7.63	22.1±3.06	29.7±6.20	77±11.3	158±18.5	174±14.4	1812±212.0
H16	154	19.3±2.57	158.4±5.65	54.8±8.04	21.8±3.01	29.3±6.33	78±12.5	162±18.6	177±12.7	1816±198.7
H17	117	19.6±4.84	158.2±5.56	54.1±7.79	21.6±2.88	28.6±5.74	79± 9.7	156±15.6	173±12.0	1769±216.1
H18	104	19.0±1.14	158.1±5.60	54.6±7.28	21.9±2.84	29.8±6.38	78±12.0	150±18.0	173±13.2	1780±195.8
H19	109	18.9±1.14	158.8±5.29	53.5±8.19	21.2±2.93	27.2±5.71	76±11.7	152±16.5	173±11.0	1790±185.1
H20	118	18.9±2.64	157.7±5.60	54.5±6.62	21.9±2.44	29.5±5.24	77±11.7	148±15.2	172±12.1	1792±196.8
H21	147	18.8±0.91	158.1±4.91	54.5±8.90	21.8±3.25	29.3±6.62	79±11.6	151±16.7	171±13.7	1770±197.4
H22	145	18.7±0.73	157.6±5.34	52.7±7.50	21.2±2.91	27.9±5.52	77±10.2	153±16.8	173±12.9	1784±206.6
H23	57	18.3±0.58	157.4±5.56	54.4±9.08	21.9±3.16	28.7±6.58	77±11.3	148±15.6	169±13.3	1668±169.1

表2 対象者の年度別身体的特性の最大値と最小値

	Age(yrs)		Height(cm)		Weight(kg)		BMI		%Fat(%)		restHR(b/m)		V6minHR(b/m)		peekHR(b/m)		12min.run(m)	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
H13	40	18	170.0	146.4	86.0	38.8	30.4	14.2	49	10	122	48	193	108	204	138	2468	1150
H14	25	18	172.8	144.6	88.0	38.4	37.3	16.2	60	17	113	52	199	105	214	127	2540	1260
H15	39	18	170.1	138.0	82.6	28.6	34.6	15.0	53	11	115	53	198	112	205	133	2322	1160
H16	40	18	172.1	142.0	82.2	38.6	33.1	16.5	53	17	124	49	205	106	211	134	2528	1222
H17	56	18	177.2	146.2	85.2	39.6	37.1	16.5	52	18	105	55	194	115	204	142	2300	1110
H18	26	18	170.9	146.2	71.2	39.2	29.3	16.3	50	18	130	55	186	111	203	136	2225	1270
H19	24	18	174.6	148.0	79.8	40.0	30.5	16.4	46	16	124	56	191	111	197	143	2302	1120
H20	46	18	176.6	140.9	73.0	41.8	28.9	17.8	48	20	127	55	180	111	194	135	2250	1070
H21	25	18	169.7	144.0	84.0	37.8	32.4	16.4	48	10	114	56	190	104	201	130	2240	1228
H22	22	18	171.1	141.2	80.8	33.8	32.6	11.5	46	18	114	52	190	111	196	135	2260	1120
H23	21	18	173.7	144.8	95.0	40.0	36.3	17.3	53	17	109	48	180	116	193	137	2000	1154

最低は10% (H13、H21) であった。

restHR の最高値は105 (H17)～130拍/分 (H18) の範囲となり、かなり緊張した者がいたことを伺わせる。最低値は48拍/分 (H13、23) であった。6分時 HR の値 (以下、6分値) は、最高が205拍/分 (H16) を示し、他の年度でも190拍/分を超えた年が7年もあり、定常状態にならなかった者がいることを伺わせる。一方、最低値は、各年度ともかなり低く、こちらは負荷が低すぎた者がいることを伺わせる結果となった。

12分走の最大値は2,540 (H14)～2,000m (H23) の範囲に分布した。最大値を示した者は、12分走値が平均以下で対象になったわけではなく、2回目の測定で前回より12分走値が落ちて対象になった者である。

2. 心電図異常

11年間ではっきりとした心電図の異常を示したのは16名 (延べ21名) であった。内1名は心臓病を自覚し、薬を服用していた。ただし、医者から運動を止められてはいない。残り15名の内訳は、安静時から期外収縮等の異常を認めた者10名 (延べ14名)、運動後に期外収縮を認めた者5名 (延べ6名) である。運動中は期外収縮等の異常を起こした者はいなかった。殆どの者が異常を自覚していないと思われ、運動を制限することはなかった。

この16名の運動中及び回復中の HR は、特別な変化を示さなかった。強いて言えば、比較的低い

値の HR でも定常状態とはならず、上昇傾向を示した者が多かったこと、及び運動終了後の回復に時間がかかる者が多かったことである。心臓病の薬を服用している者は、PeekHR が149拍/分、回復3分時が113拍/分であり、36拍しか低下しなかった。回復が最も遅かった者は PeekHR165拍/分、回復3分時131拍/分で34拍の減少のみであった。

この他、心電図に異常はなかったが、本人が途中で異常を訴え、きちんと漕ぐことが出来なかった者が3名いた。

この19名(延べ24名)は、一般的な特徴を検討するにはふさわしくないと考え、以後の集計では、特別な場合を除いて使用していない。

3. 2.0kpの固定負荷実施者

12分走を2,400m以上走り、運動部に所属している4名、及び体重90kgを超えた者1名に対して、通常の1.5kpでは無く2.0kp負荷とした。

この5名のHR変動は、運動中、いくらか上昇傾向はあるものの、ほぼ定常状態を示し、6分値(150±16.9拍/分)からPeekHRまで平均で30拍/分程度の増加を示した。運動後は回復3分で103±11.2拍/分まで低下した。この一連の変化は最も一般的な形であり、この負荷は妥当なものと考えられる。ただし、この5名は他の者と負荷が異なるため、以後の集計からは除外した。残りは1,485名となった。

4. 6分値とPeekHRの関係

6分値は1.5kpの固定負荷で行った運動の定常状態の判断基準になるものである。また、今回のPeekHRは固定負荷での運動終了後、負荷を2kp以上に上げ、できるだけ速い回転数で20秒間の最大努力をした結果の値である。この間、10秒間の休憩はあるものの当然PeekHRの方が6分値より高くなるのが期待された。ところが、1,485名中15名は減少、16名は変化なしであった。更に9拍以下の上昇にとどまった者が301名認められた。残りは10拍以上の上昇を示し、40拍以上上昇したのは92名であった。最高の上昇は58拍で3名認められた。

図1は、比較のためその代表例を示したものである。左図は、PeekHRと6分値の差が殆ど変化しなかった例であり、6分値が最大(198拍/分)でPeekHRが2拍下がった者と6分値が最小(121拍/分)でPeekHRが6拍しか上昇しなかった者の変化を表している。右図は変化が大きかった例であり、6分値が最大(170拍/分)でPeekHRが44拍上昇した者と6分値が最小(106拍/分)でPeek-

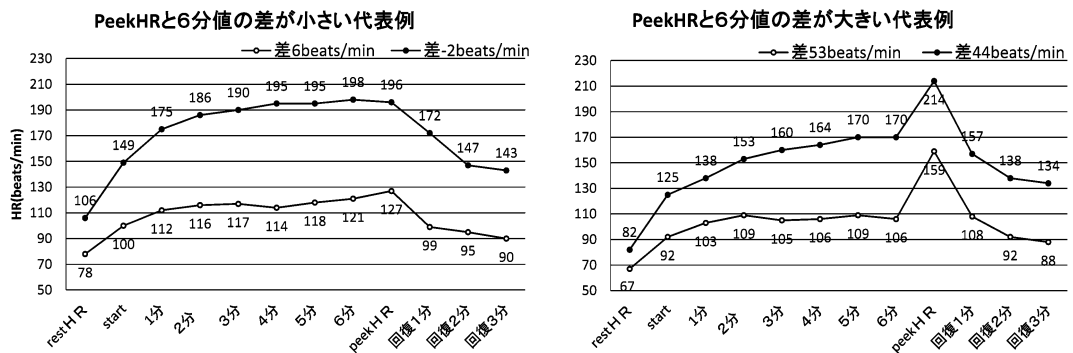


図1 PeekHRと6分値の差を基準とした、その大きさ別の運動中のHR変化
 左図は6分値からPeekHR値が殆ど変化しない例
 右図は6分値からPeekHR値が大きく変化した例

HR が53拍上昇した者の HR の変化である。

最高 HR は、一般的には (220-年齢) で表され、この年齢ではおよそ200拍/分前後であると言われている。今回の結果をみると、9 拍以下しか上昇しなかった例では、6 分値で既に190拍以上で最大値に近い値を出していると思われる例 (左図) が認められた。この場合には、PeekHR で上昇を望むことは出来ない。20拍以上上昇した例では6分時の最大値は175拍/分であり、1 名が PeekHR で200拍/分を超えた (右図)。これは、最高 HR に達したと考えてよいであろう。

しかし、6 分値から PeekHR にかけて7 拍減少した者の6 分値は170拍/分であり、減少あるいは変化なしとなった31名中7 名は160拍/分以下であった。また、1～9 拍増加した301名中では、6 分値が120拍/分台1 名、130拍/分台14名、140拍/分台19名、150拍/分台37名であった。更に、10～19 拍増加した464名中でも、110拍/分台が1 名、120拍/分台11名、130拍/分台36名、140拍/分台92名、150拍/分台110名となった。PeekHR を上げることが出来なかった理由として、体力的に前の6 分間で疲労してレペリングオフ状態になった場合、最大努力の負荷が重すぎて回転数を上げられなかった場合、努力を怠った場合等考えられるが、今回はその理由を特定することは出来ない。

最大の58拍上昇した3名の6 分値は109～117拍/分であった。これらの PeekHR も当然最高 HR とは考えられない。6 分値の HR が低い場合には、20秒間では最大値に達するまでの時間として短かいと考えることが妥当であろう。

12分走では、200拍/分以上で走り続けるデータが認められている⁵⁾。今回の測定でも200拍/分に近い値を出した者がいた。12分走のことを考慮すると、これも最大下運動と言って良いのかもしれないが、これは今後の研究課題である。

5. 身体的要素が運動中の HR に与える影響について

表3は、身体的要素と運動中の HR とのそれぞれの相関関係を見たものである。身長は、体重とは相関を認めたものの、その他の項目とは関係を認めなかった。体重、BMI、%Fat は、3 者間で非常に高い相関関係が認められた。HR 関連では、restHR、6 分値、PeekHR、回復3分時 HR の4 者間で0.1%水準で有意な相関が認められた。身体的要素と HR との間では、唯一6 分値との間で相関が認められた。中でも、体重とは0.1%水準で有意な負の相関が認められた。

表3 身体的特性及び心拍数変動における相関関係

(n=1485)

	height	weight	BMI	%Fat	restHR	V6minHR	peekHR	rec.3minHR
height		0.381	-0.089	-0.073	-0.028	-0.177	-0.104	-0.104
weight	***		0.885	0.802	0.040	-0.324	-0.171	-0.138
BMI	n.s.	***		0.902	0.057	-0.259	-0.133	-0.098
%Fat	n.s.	***	***		0.065	-0.202	-0.071	-0.052
restHR	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		0.434	0.344	0.584
V6minHR	n.s.	***	**	*	***		0.737595762	0.747
peekHR	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	***		0.700
rec.3minHR	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	***	***	

* : p<0.05, ** : p<0.01, *** : p<0.001, n.s. : non significant

そこで、体重がどの程度運動中の HR に影響を与えているか検討を行った。

図2は、体重の違いによる HR の変化を見たものである。体重45kg以下の者 (134名) と体重70kg以上の者 (65名) を抽出し、全体 (1,485名) の平均値と併せて示した。ちなみに体重45kg以下の者は70kg以上の者に比べて、平均値では、身長は低く、BMI と%Fat は少なくなっている。図では、6 分値が体重の違いによって変化する様子がはっきりと示されている。6 分時の平均値は、45kg以

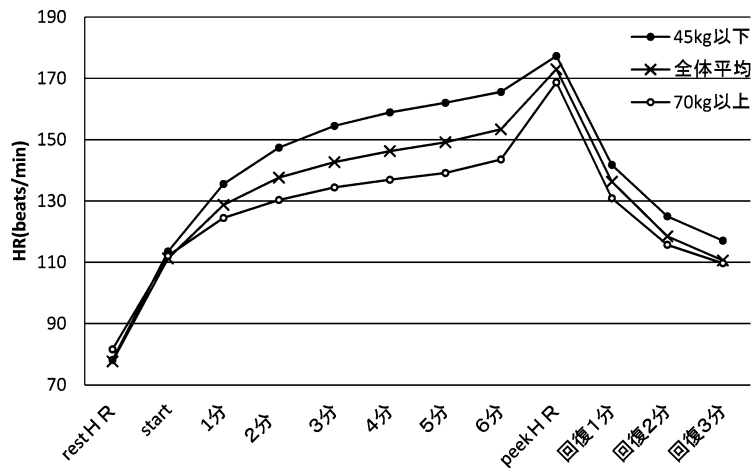


図2 体重の違いが運動中のHRに与える影響
体重45kg以下の者、体重70kg以上の者と全体の平均値の比較

下が 166 ± 15.8 拍/分なのに対し、70kg以上が 144 ± 14.5 拍/分、全体では 153 ± 17.8 拍/分である。restHRでは殆ど変化は認められず、PeekHRではいくらか45kg以下の者が高い傾向を示したものの、全体として170拍/分付近で収束する傾向が認められた。回復では、45kg以下の者が高い傾向を示した。これはPeekHRが幾分高かったことが影響していると考えられる。

BMI、%Fat、身長による違いについても、体重と同様な方法で検討した。その結果、それぞれ高い値を示した群の6分値が、低い値を示した群と比較して、低くなる傾向が認められた。ただし、BMI、%Fatの高い群は身長が低く、身長の高い群のBMI、%Fatは低かった。このことから、やはり身体的要素の中では体重がHRに影響を与えやすく、しかも、その影響はrestHRやPeekHRより最大下運動時のHRに出やすいと言えそうである。

6. 再測定実施者について

12分走値が平均以下で測定を行った者が、次の12分走で更に値が低下した場合、2回目の測定を行うことになる。また、体力測定として行う12分走の授業を欠席した場合もこの対象となる。この対象者は11年間で288名であった。その内、3回実施者は7名、4回実施者は1名である。従って延べ人数は585名になった。殆どの者が、その年度の前期と後期（あるいは後期と次の年度の前期）で行っているが、中には、1年以上間をおいて行った者もいる。

この中で心電図異常者は6名含まれていた。5名は2回とも同様な異常を示し、残りの1名は前期に期外収縮を示したが後期には異常を示さなかった。2回とも異常を示した者は、集計対象からはずした。

3回実施者のデータを比較する場合、2回目のデータを1回目に対して利用し、更に3回目に対しても前回測定値として利用した。従って、比較対象データ数は291名分となった。

表4は1回目と2回目の測定平均値を示したものである。年齢は、0.5歳増加し、少し標準偏差が大きくなっている。身長、体重、BMIは変化せず、%Fatのみ増加した。もう少し具体的に見ると、体重では、1kg以上増加88名(30%)、1kg未満で変化116名(40%)、1kg以上減少87名(30%)である。BMIでは、0.6以上増加68名(23%)、 ± 0.5 の範囲で変化152名(52%)、0.6以上減少71名(25%)である。%Fatは増加174名(60%)、変化なし53名(18%)、減少64名(22%)という結果であった。

表4 再測定実施者の1回目と2回目の平均値の比較 (n=291)

	1回目平均	2回目平均
	average±SD	average±SD
Age(yrs)	18.8±1.39	19.4±1.45
Height(cm)	158.2±5.56	158.3±5.57
Weight(kg)	54.8±8.14	54.8±8.22
BMI	21.9±3.05	21.9±3.11
%Fat(%)	28.9±6.20	30.1±6.55
restHR(b/m)	79±11.6	78±11.0
V6minHR(b/m)	157±17.9	153±17.0
PeekHR(b/m)	175±13.4	173±12.8
12min.run(m)	1792±159.3	1697±185.4

この中には、体重が減少で%Fatは増加という者が89名認められた。これは、運動をせず食事のみで体重を落とした場合の典型例である。この者達の6分値の変化は、減少49名(55%)、増加40名(45%)であった。体重を落として身体は軽くなったはずではあるが、呼吸循環機能は半数近くが改善されていないという結果である。

体重が増加し%Fatも増加した者は138名おり、その6分値は減少77名(56%)、変化なし6名(4%)、増加55名(40%)であった。体重が増加で%Fat減少は8名であり、その6分値は6名減少、2名が増加した。体重も%Fatも減少した者は56名であり、その6分値は減少36名(64%)、変化なし3名(5%)、増加17名(31%)であった。%Fat減少時に6分値が減少する割合が大きく、増加した者の2倍以上になった。体重の増減に関わらず、%Fatの減少は、呼吸循環機能の改善にも役立つと言えるであろう。

restHR、6分値、peekHR、12分走の平均値は、1回目に比べ2回目の方が低下した。ただし、有意差は認められなかった。

図3は、restHR、6分値、PeekHRがどのような人数の割合で増減したかを示したものである。低下した者は、restHR156名(54%)、6分値166名(57%)、PeekHR175名(60%)であり、全て、2回目に低下した者の方が多くなった。体重があまり変化せず、6分値が低下したことは、呼吸循環機能の改善が認められたということであり12分走値の上昇が期待できる者がかなりいたということ

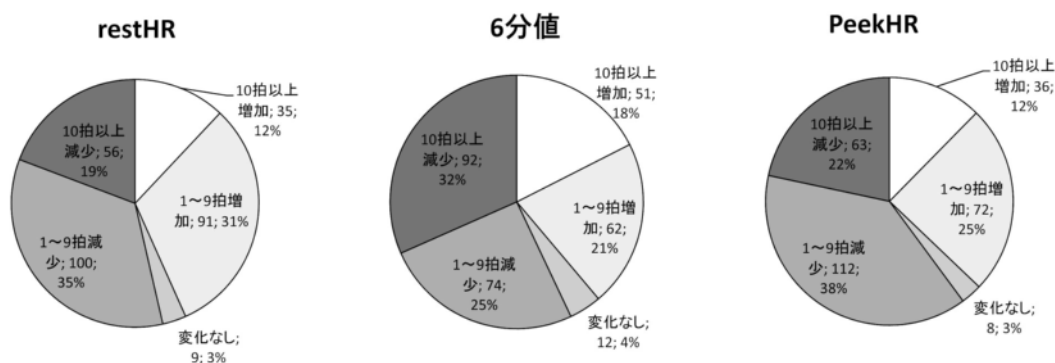


図3 再測定実施者の1回目と2回目のHR差で分類した人数とその割合
 左図はrestHR、中図は6分値、右図はPeekHRの変化を示している
 数字は、前が人数、後が割合(%)

とになる。しかし、12分走値の減少した者がこの測定の対象者であり、増加した者は、欠席後、個人的に走った22名のみである。

12分走は、やる気が記録に大きな影響を及ぼす種目であり、2回目の12分走時、もう少し頑張れた者がいたのではないかと推測できる。

考 察

1. 定常状態の判断について

Astrand⁴⁾は、「最大下作業では、脈拍数は作業の最初の2～3分間増大してから定常状態に達する。脈拍数を1分ごとに測定し、5分目と6分目の脈拍数の平均値をその作業の作業脈拍数とする。もしその差が5拍/分以上であれば、一定水準に達するまで作業時間を延長すると良い。」と述べている。今回の測定値の5分目と6分目の差は、0拍未満(5分目より低下した)者が174名、0～5拍811名、6～10拍371名、11～15拍112名、16拍以上17名であった。図4は、この間隔で分類した時のHRの変化を平均値で示したものである。

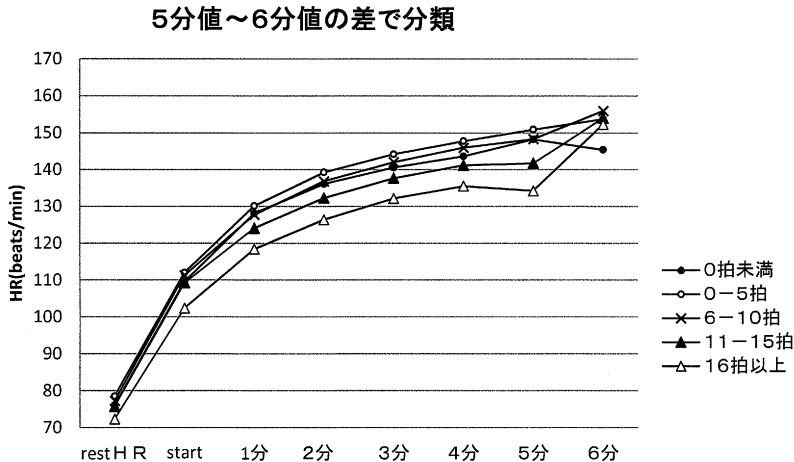


図4 5分値から6分値の差を基準として分類した運動中のHR変化

0～5拍の値は、5分値で最高(151拍/分)、6分値で2番目に高い値(154拍/分)を示している。この図を見る限り、16拍以上上昇したデータは5～6分に急激に上がったばかりであり、5分までは最も低い値で推移し定常状態を既に形成していたように認められる。11～15拍上昇したデータも5分時まで10拍以下のデータより低く推移している。運動終了直前にHRが上がることは、よくあることであり、これを全て非定常と判断するのは早計のように考えられる。

そこで、運動中の4分から6分の間、及び3分から6分の間どの程度HRが上昇したかを調べ、その変化を示したのが図5である。左図が4分から6分の間2分間に変化した数によって分類したもの、右図が3分から6分の間3分間に変化した数によって分類したものである。左図では、4拍以下が462名、5～9拍が574名、10～14拍が320名、15拍以上が129名である。右図では、9拍以下が638名、10～14拍が464名、15～19拍が267名、20拍以上が117名である。左図で気になるのは、やはり2分間で15拍以上差が出た者のグラフの変化である。図4と同様、4分目までは最も低い値で推移し、5分から急激に増加した傾向が認められる。この者達は、運動終了直前に上昇したわけ

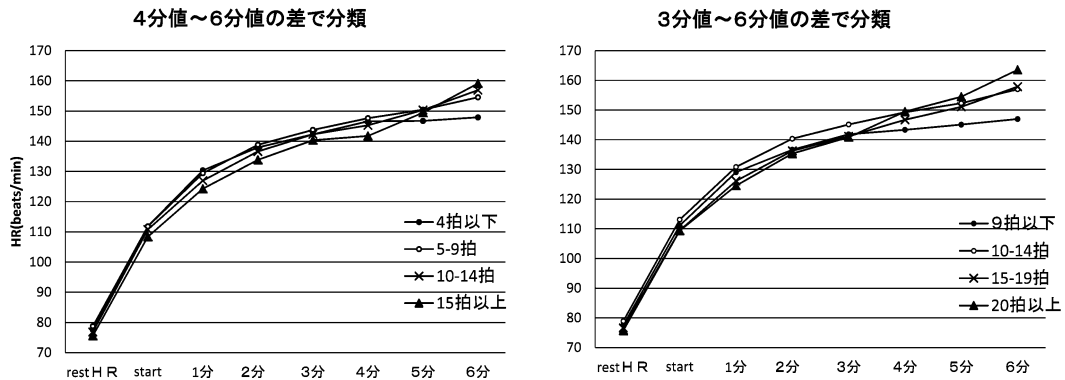


図5 運動中のHR変化

左図は4分値から6分値の差を基準として分類、右図は3分値からの差を基準として分類したもの

ではないが、全て非定常とするのには、疑問の残る結果である。それに比較し、右図では、20拍以上上昇した者（117名）の平均値は、restHR（76拍/分）を除き、startHRから6分値（164拍/分）まで、ほぼ直線的にHRが上昇し、明確に定常状態とは言えない状態を示している。非定常を規定する場合、5分から6分の差ではなく、3分から6分の差を見ることが必要なのではないだろうか。神山は、以前の報告⁵⁾で、4分から6分にかけて10～14拍上昇した者を定常状態疑形成（12名）、15拍以上上昇した場合を非定常（3名）と判断している。この場合の判断は、例数が少ないため、個々の変化を見て行っている。今回例数を増やし、検討した結果、4分から6分までの2分間より、3分から6分間の3分間の方がより望ましいと考えられた。

そこで、完全に非定常と判断するのは、3分間で何拍の差があった場合を目安にするか検討を行った。

図6は、12拍からの1拍ごとの変化を見たものである。差が12拍、13拍に比べ14拍から傾きが急になる傾向が認められる。また、16拍と17拍の間にも同程度の傾きの差が認められた。完全に、どこからという判断は難しいが、今回の結果からは3分から6分までの間に14拍以上差があった場合に非定常と考えて良いのではないかと判断した。

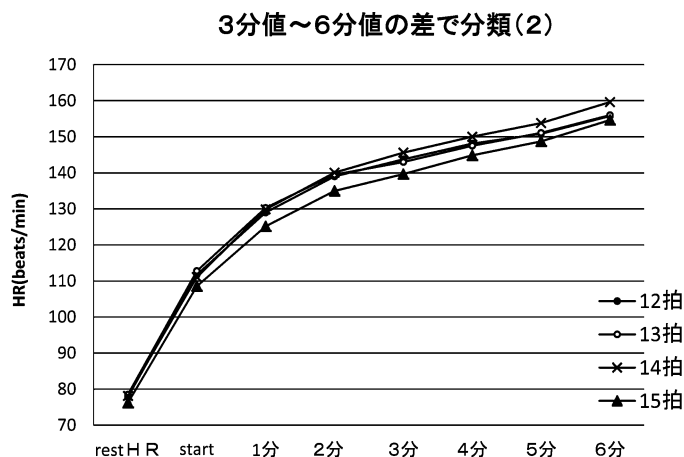


図6 3分値から6分値の差（12拍～15拍）による運動中のHR変化

ただし、この中には5分から6分の間に5拍以下だった者が175名含まれた。この者達は、5分までは急激な増加を示したが5分から定常状態に入ったと考えられる。中には、5分時に200拍/分に達した者もあり、一概に判断することは出来ないが、この者達のデータを非定常と考えることは難しい。更に、この175名を除いた287名の中に、4分から6分までの間に9拍以下だった者が66名含まれた。この者達のデータも3分から4分までの値が大きかっただけであり、非定常と判断するのは難しいことがわかった。なお、この場合も、2分間の差が9拍と10拍の間に傾きの変化があり、9拍以下とすることがより望ましいと判断した。

結局、今回の判断では、5分から6分の間に5拍以下、4分から6分の間に9拍以下、3分から6分までの間に13拍以下だった者は定常状態と考えて良いのではないかという結論に達した。

表5に今回、非定常と判断された者(221名)の平均値及び最大値、最小値を示した。この平均値からは、身体的要素においては、特に特徴は認められない。この221名をBMIで分類してみると、平均とされる21~22は66名(30%)、21未満は75名(34%)で合計64%である。肥満と判定される25以上は23名(10%)であった。全体では162名(11%)であり、どちらかと言えば、肥満者は少ないと言えるであろう。

一方、非定常のデータが判断されたことによって、残りのデータが定常状態を形成したデータとなった。表6は、その1,264名の平均値である。年齢、身長、体重、BMIは、非定常と判断された者より少し高くなり、%Fatは少し低くなった。HR関連では、restHR、startHRは平均値としては少し高くなったが、それ以外は低くなった。回復時のHRはPeekHRの平均値に関連していた。定常者のPeekHRと回復3分時の差の平均は62拍、非定常者のそれは64拍であった。ちなみに、心電図異常者のそれは59拍である。

今回のデータで非定常と判断された者と定常と判断された者の平均値間には、全ての値で有意差を認めることは出来なかった。非定常状態にならないようにするためには、身体的要素やRestHRから判断するのではなく、十分に練習時間を取り、それを基に負荷の設定をしなくてはならないとい

表5 非定常と判断されたデータの平均値及び最大値、最小値

	average±SD	max	min
Age(yrs)	18.8±1.47	37	18
Height(cm)	157.7±5.38	176.6	141.2
Weight(kg)	53.7±7.64	86.0	39.6
BMI	21.6±3.02	33.6	16.4
%Fat(%)	29.2±6.36	53.0	16.0
restHR(b/m)	76±9.6	103	53
start(b/m)	110±13.6	139	61
V6minHR(b/m)	161±14.1	194	122
PeekHR(b/m)	178±10.9	204	145
rec.1minHR(b/m)	140±14.5	179	104
rec.2minHR(b/m)	123±15.6	162	67
rec.3minHR(b/m)	115±15.4	157	69
12min.run(m)	1797±218.0	2540	1110

(n=221)

表6 定常状態と判定されたデータの平均値

	average±SD
Age(yrs)	19.1±2.31
Height(cm)	158.4±5.41
Weight(kg)	54.5±8.01
BMI	21.7±2.95
%Fat(%)	28.9±6.07
restHR(b/m)	78±11.6
start(b/m)	111±14.4
V6minHR(b/m)	152±18.0
PeekHR(b/m)	172±13.3
rec.1minHR(b/m)	136±17.0
rec.2minHR(b/m)	118±17.7
rec.3minHR(b/m)	110±17.1
12min.run(m)	1793±195.6

(n=1264)

うことであろう。

2. 運動中の6分値に与える影響について

本来、この固定負荷法における呼吸循環機能の測定は、最大下のHRから最大酸素摂取量を推定し、自分で走った12分走値と比較しながら生活を見直させ、健康意識を高めようと意図するものである。この推定に、最も深く関与するのが運動中の6分値である。定常状態を形成したHR(以下、steadyHR)の判断では、Astrand³⁾は5分値と6分値の平均値を利用するとし、神山⁵⁾は5分値を利用する方がより実際に走った12分走値に近くなるとしているが、どちらにしてもその判断に6分値は欠かせない。

運動中のHRと酸素摂取量は有意な負の相関関係が成り立つ。すなわち、6分値が高くなれば最大酸素摂取量は低く推定されるという関係である。

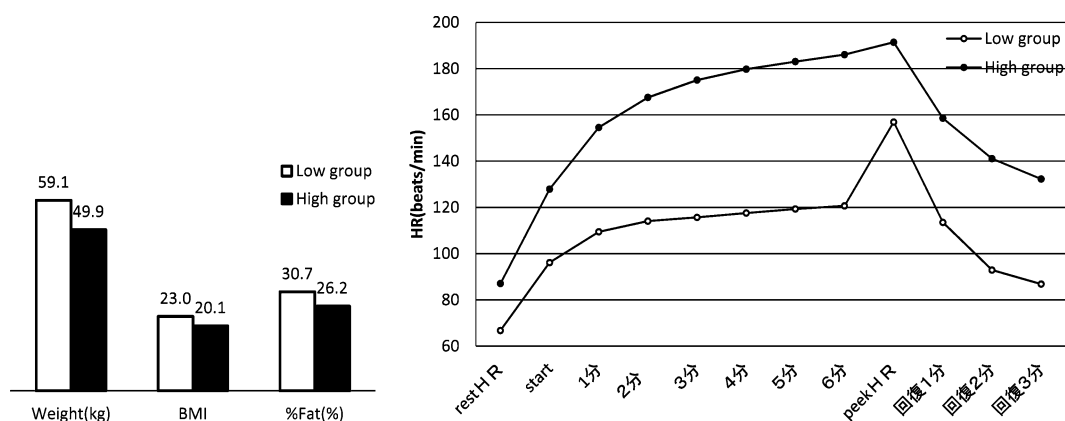


図7 6分時のHR値が低くなった者100名(LG)と高くなった者100名(HG)の平均値の比較

図7は、今回実施されたデータの内、異常及び非正常と判断されたものを除いた1,264名の中の6分値が最も低くなった100名(以下、L群)と最も高くなった100名(以下、H群)を取りだし、その平均値を比較したものである。

体重、BMI、%FatともH群が低くなった。一方、HRでは、restHRから回復3分まで全てH群が高い値を示した。すなわち、6分値が低い者は体重が重く、最大酸素摂取量を体重当たりの値にすると平均化されることになると言えそうである。ただし、平均値では、体重に9.2kgの差が出たが、実際にL群は45kg~88kg、H群は37.8kg~67.4kgの者が含まれた。しかも、50kg台の者が、それぞれ57名(57%)と37名(37%)含まれていた。これらの者は、殆ど体重は同じであるのに、はっきりとHRに差が出たわけである。これは明らかに呼吸循環機能の差であると言える。従って、体重の重い者がHRは低くなりやすいと言えそうであるが、体重が重いからといってHRが低くなるわけではないとも言えそうである。

次に、restHRにもL群とH群との間に平均値では20拍の差が認められた。このことから、restHRの高い者は6分値も高くなりやすいと言えそうである。ただし、この場合も、L群には48拍/分~92拍/分、H群には61拍/分~130拍/分の者が含まれていた。最も人数が多かったのは、L群では60拍/分台、H群では80拍/分台であるが、70拍/分台も、それぞれ27名(27%)ずつ含まれていた。このrestHR70拍/分台の者同士で比較しても、6分値はL群122拍/分、H群186拍/分で64拍の差が認められた。

H群では、restHR が100拍/分を越えた者が17名いた。彼らの6分値は、最低の者が179拍/分、最高では205拍/分になった。普段から100拍/分を越える場合、頻脈と判断されるが、おそらく彼らの多くは、普段はもう少し低く、緊張のために高くなったのであろう。再測定者の結果で認められたように、2回目の測定では低下する傾向がある。その中には、緊張の度合いが減り restHR が下がった者もいると推測できる。Åstrand⁴⁾ は、restHR は作業テストにとって有用な情報とはならないことが経験的に明らかである、と述べている。確かに restHR は精神的影響を大きく受けるとは思われるが、神山⁶⁾ は restHR が6分値と相関があることを報告している。心拍出量が少ないために restHR が高くなっている者は、最大下の運動であっても、その運動に対応するために HR を増加させねばならない。これを解消するためには、生活の中に運動を取り入れ心拍出量を増加させる必要がある。このことが restHR の低下、運動中 HR の低下に繋がることを認識しなければならない。

3. 最大酸素摂取量の推定について

基本的に Åstrand の換算表を使用して推定を行ったが、換算表は HR の値を120~170拍/分の範囲に設定されており、範囲外では推定誤差が大きくなると考えられる。本来なら負荷を調節してこの範囲に収めるべきであるが、今回の測定は、数人を除いて1.5kp に統一して実施し、範囲外になった者に対しても、他の値に準じて推定した。測定を始めた初期の段階では年齢による係数を用いたが、あまりにも推定値が大きくなる傾向が認められた。そこで神山は PeekHR180を基準(1.00)とした係数を用いて推定する方法(以下、PeekHR 補正)を検討した^{5,7)}。

表7 定常状態と判定されたデータの定常値及び推定最大酸素摂取量の年度別平均値

	n(人)	steady state (b/m)	$\dot{V}o_{2max}/kg$ (年齢補正)	$\dot{V}o_{2max}/kg$ (PeekHR 補正)	12min.run (m)
		average±SD	average±SD	average±SD	average±SD
H13	148	149±17.6	41.36±9.967	35.72±7.633	1773±161.2
H14	160	148±21.6	39.32±12.754	34.56±9.684	1821±46.9
H15	155	148±17.5	40.55±9.443	34.48±7.510	1787±135.7
H16	121	151±17.9	41.11±10.451	34.71±6.857	1785±222.8
H17	103	151±17.7	42.66±12.005	35.94±7.723	1831±189.3
H18	87	151±18.8	40.33±10.040	34.10±6.276	1753±229.0
H19	93	149±18.0	42.48±10.647	35.21±7.415	1779±179.5
H20	99	146±17.5	44.06±10.976	36.11±7.205	1806±195.4
H21	131	163±19.1	37.15±7.086	33.23±4.810	1783±295.5
H22	121	150±17.6	40.25±10.023	32.98±6.080	1726±81.3
H23	46	147±20.6	44.71±11.804	35.78±7.238	1820±221.4
Total	1,264	150±18.0	41.69±10.546	34.94±7.088	1793±195.6

表7は、Åstrandによる年齢補正と PeekHR 補正した場合の最大酸素摂取量の推定値を年度別に表したものである。対象人数(n)は定常状態を形成したと考えられた人数であり、次の欄にはその平均値が示されている。全体では steadyHR の平均値は150±18.0拍/分であった。最大酸素摂取量は、年齢補正では41.69±10.549ml/kg/minとなり、PeekHR 補正では34.94±7.088ml/kg/minとなった。全ての年で PeekHR 補正の値が低くなった。

図8はその値を Cooper による体力区分⁸⁾で、今回定常と判断された1,264名のデータを分類したものである。「非常に悪い」は25.0ml/kg/min以下、「悪い」は25.1~33.7ml/kg/min、「やや悪い」は

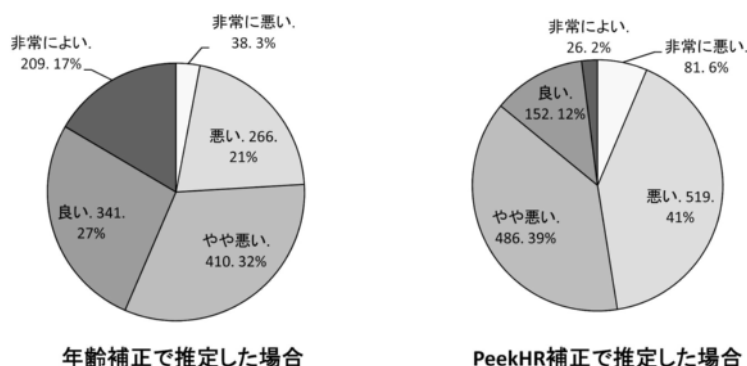


図8 Cooperの体力区分で分類した場合の人数とその割合

33.8~42.5ml/kg/min、「良い」は42.6~51.5ml/kg/min、「非常に良い」は51.6ml/kg/min以上という30歳未満の分類を当てはめている。

右図の年齢補正で「良い」「非常に良い」は44%なのに対し、左図では14%と少なくなっている。Cooperの12分走テストの評価表⁸⁾では、30歳未満の女性の「良い」は2,200m以上である。今回の測定が12分走の値が平均値以下の者を主に対象にしていることを考えると44%というのはあまりにも大きい値である。年齢補正をした場合の最高値を示した者は体重28.6kg、steadyHR142拍/分で最大酸素摂取量が86.90ml/kg/minと推定された。体重が極端に少ない2名が80mlを越える値となった。次に高い値を出した者達は、steadyHRの値が120拍/分以下の者が殆どである。負荷が低すぎたため誤差が大きくなったと考えられる。また、最低値は、体重61.8kg、steadyHR203拍/分で最大酸素摂取量が16.55ml/kg/minと推定された。低く推定された上位6名は、steadyHRの値が190拍/分を超えており、しかも体重がそれほど重くないというのが特徴である。

PeekHR補正では、最高値を示した者は体重45.6kg、steadyHR120拍/分で最大酸素摂取量が65.87ml/kg/minであった。高い値を出した者のsteadyHRが低い傾向は同じであるが、最大酸素摂取量の推定値は10ml程度低くなった。ちなみに、年齢補正で最高値(86.90ml/kg/min)を示した者の最大酸素摂取量は56.57ml/kg/minとなり30.33ml少なく推定された。最低値を示した者は年齢補正の場合と同じであったが、3位に体重83.8kg、steadyHR159拍/分で最大酸素摂取量が18.00ml/kg/minと推定された者が入った。この者は、半年後に再測定を行い、体重88.0kgとなったがsteadyHRは127拍/分と下がり、最大酸素摂取量は24.86ml/kg/minと推定された。これは最低から数えて80番目の値である。

PeekHR補正で推定した今回の最大酸素摂取量の平均値は34.94ml/kg/minであった。「健康づくりのための運動所要量」(平成元年、厚生省)に示された最大酸素摂取量の目標値は20歳代の女性の場合35ml/kg/minである。今回の値は、平均値としてはほぼ同じになったが、人数では688名が35ml/kg/min未満であった。宮地⁹⁾は生活習慣病予防のために必要な最大酸素摂取量は20歳代の女性の場合、27~38ml/kg/min、平均で33ml/kg/minとしている。今回27ml/kg/minにも満たなかった者は155名おり、最大酸素摂取量から見た場合の生活習慣病予備軍が、測定者だけでも年間平均10数名いる計算である。体育実技未履修者を含めれば、本学学生全体では、かなりの人数になると思われる。Okuraら¹⁰⁾や青山ら¹¹⁾も最大酸素摂取量の低い集団ではメタボリックシンドロームの危険率が高いと報告している。

4. 実際の12分走値と推定の12分走値の比較

最大酸素摂取量の推定に伴い、その推定値から12分走値の推定を行った。推定には Cooper の推定式 ($Y = 47.07 * X + 340.55$) を利用した。Y は12分走値、X は体重当たりの最大酸素摂取量である。

年齢補正による最大酸素摂取量から推定した12分走値は最低1,120m、最高4,431m、平均値 $2,303 \pm 496$ m であり、PeekHR 補正 から推定した値は最低1,120m、最高3,441m、平均値 $1,985 \pm 334$ m であった。PeekHR 補正の方が、平均値で318m少なくなり、標準偏差も減少した。実際に走った距離との相関係数は、それぞれ $r = 0.296$ ($p < 0.01$)、 $r = 0.342$ ($p < 0.001$) となり、PeekHR 補正の方がより高い有意水準になった。

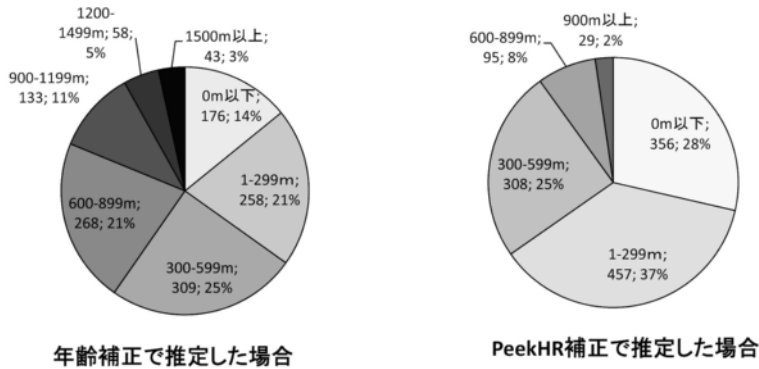


図9 実際の12分走値と推定による12分走値の差を距離別に分類した時の人数とその割合

図9は、実際に走った距離と推定した値との差を距離別に分類して人数の割合で示したものである。年齢補正によるものは、推定値の方が低く(0m以下)になる割合は少なかったが、900m以上の差が出た者の割合は多くなった。

12分走値が実際の値より低く推定された者の特徴は、運動中のHRが高く、PeekHRも高かった者である。この者達は、係数が殆ど両者で変わらなかったため、12分走の推定値にも変化が現れなかった。

神山は1994年の報告⁵⁾で、活動グループと非活動グループに分け、それぞれのグループ毎の steadyHR を利用した12分走値の推定を提唱した。今回、その回帰直線を利用し検証を行った。今回は、活動グループと非活動グループという分類は行わなかったため、全体 (n = 1,245) を一つのグループとして推定した。活動グループの回帰直線を利用した場合の結果は、最大値3,190m、最小値1,074m、平均値 $1,948 \pm 300$ m であり、実際に走った値との相関係数は $r = 0.342$ ($p < 0.001$) となった。非活動グループの回帰直線を利用した場合は、最大値2,599m、最小値851m、平均値 $1,569 \pm 253$ m、 $r = 0.346$ ($p < 0.001$) であった。実際に走った値との差の最大値はそれぞれ1,362m、727m、最小値はそれぞれ-609m、-897mとなった。

この結果から見ると、非活動グループの回帰直

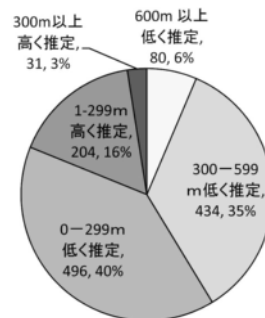


図10 実際の12分走値と非活動グループ用回帰直線を利用して推定した12分走値の差を距離別に分類した場合の人数とその割合

線を利用した場合が、年齢補正、PeekHR 補正を利用した場合を含め、最も実際に走った値と近い結果となった。そこで、実際に走った距離と非活動グループの回帰直線を利用して出た値の比較を行った。図10は、その差を距離別に分類してその人数の割合を示したものである。確かに、実際に走った値との差が少ないことは認められるが、実際に走った値より少なく推定されたものが1,245名中1,010名に上った。これはあまりにも多い数字である。再測定者の結果では、もう少し走れたと思われる者がかなり認められた。この回帰直線は、本学学生の値を推定するには適当であるが、実際の努力した結果の12分走値を求めるには、あまり、ふさわしくないと言えそうである。

結論としては、PeekHR 補正を利用した最大酸素摂取量から12分走値を推定するのが、最も無難であり最適であると言えそうである。

まとめ

自転車エルゴメーターを使用した固定負荷法による HR の測定、そして、その値から推定される最大酸素摂取量と12分走値を本学学生に対して実施した平成13年～23年までのデータを利用し、その特徴を検討した。

11年間の測定者は延べ1,514名、この内2回以上実施した者は288名であった。心電図に異常を示したのは16名(延べ21名)、きちんと測定できなかった者は3名であった。固定負荷は、1.5kpで行った。ただし、明らかにこの負荷では低すぎると思われた5名については2.0kpで行った。

6分値と PeekHR との関係を検討した結果、6分値が190拍/分以上では PeekHR を10拍以上上げることは難しく、20拍以上上げた者は6分値が175拍/分以下であった。6分値と PeekHR の差の最高は58拍であったが、その時の6分値は117拍以下であり、20秒間の最大努力では、最高 HR には届いていないと考えられた。

身体的要素と運動中の HR との関連について相関係数を求めて検討した結果、体重と6分値との関係が有意となった。ただし、これは一定負荷で運動した場合、体重が重い方が運動中の HR が低くなりやすいということであり、重いから低くなるということではないことも確認された。

再測定者の1回目と2回目の値を比較した結果、身体的要素としては、%Fatが増加した者が多かった。人数的に少なかったことは残念であるが、%Fatの減少は呼吸循環機能改善に役立つ傾向が認められた。また、平均値ではrestHR、6分値、PeekHRは、1回目より低下した。これは、慣れによる影響も考えられるが、12分走をもう少し頑張れば、この測定対象者にならなかった者がいたのではないかと推定された。

最大酸素摂取量を推定する際に重要なのが、定常状態の判断である。今回のデータから、5分から6分の間に5拍以下というだけでなく、4分から6分の間に9拍以下、3分から6分の間に13拍以下だった者は、定常状態として良いのではないかと判断できた。

この結果、今回のデータでは非定常状態は221名となった。そして残りの1,264名は定常状態を形成したと考えられ、このデータを用いて、最大酸素摂取量の推定に関して検討を行った。その結果、Astrandによる年齢補正によるものより PeekHR 補正の方が、より現実的なものに近いのではないかと考えられた。また、12分走値を推定する場合も、年齢補正や神山が提唱した回帰直線を用いるよりも、PeekHR 補正を利用した方が無難であろうと考えられた。

最大酸素摂取量は、健康度を表す最も確かなものであるが、今回の測定は間接法であり、それほど正確な値とは言えない。しかし、どのように推定しても、本学学生の中には最大酸素摂取量がかなり低いであろうと思われる者が相当数いると思われる。最近では、無酸素性作業閾値を利用する研究が盛んである。今後は、この方法も視野に入れながら、きちんとした健康指導が出来るように

工夫をしていきたい。

参考文献

- 1) 熊原秀晃 et al., 二重積屈曲点運動負荷強度の判定の安全性の検討, 体力科学, 52 Suppl, 177-184, 2003.
- 2) 松原建史 et al., 二重積屈曲点に相当する心拍数と年齢から推定した最大酸素摂取量の50%に相当する心拍数の比較・検討, 体力科学, 59 : 513-520, 2010.
- 3) Åstrand, P-O., I.Ryhming, A Nomogram for Calculation of Aerobic Capacity (Physical Fitness) from Pulse Rate during Submaximal Work, J. Appl. Physiol., 7 : 218, 1954.
- 4) Åstrand, P-O., K.Rodahl, Textbook of Work Physiology, McGraw-Hill, 1970.
- 5) 神山雄一郎, 最大下運動時の心拍数と十二分走値との関係について, 群馬県立女子大学紀要, 15 : 187-199, 1994.
- 6) 神山雄一郎, 安静脈の年間変動および心拍数との測定誤差について, 群馬県立女子大学紀要, 24 : 289-300, 2003.
- 7) 神山雄一郎, Åstrand の推定法による最大酸素摂取量の測定誤差とその増大要因, 群馬県立女子大学紀要, 7 : 113-123, 1987.
- 8) Cooper, K.H., The New Aerobics, M.Evans and Company, Inc., New York., 1970.
- 9) 宮地元彦, 生活習慣病予防のための体力, 体育の科学, 56 : 608-614, 2006.
- 10) Okura T. et al., Effects of aerobic exercise on metabolic syndrome improvement in response to weight reduction, Obesity (Silver Spring), 15 : 2478-2484, 2007.
- 11) 青山友子, 樋口 満, 運動指針2006の体力基準値とメタボリックシンドローム, 体育の科学, 61 : 90-97, 2011.