

運動時の血圧反応に及ぼす安静時加速度脈波 並びに推定VO₂maxの影響

Effect of resting Accelerated Plethysmography and predicted VO₂ max
on blood pressure during bicycle ergometer

片岡 幸雄* 岩田 岳樹**

Yukio KATAOKA Takeki IWATA

「目的」

近年、肥満症、高血圧症および頸肩腕症・腰痛症などの運動不足に起因する生活習慣病に対する運動処方必要性がますます重要な位置を占めている。その生理学的並びに体力医学的効果についてはこれまで多くの報告がある^(1,3,6,8,10,11,15,17)。それらの効果についてはより高い安全性の上に達成されるものであることは言うまでもない。

とくに中高年者では運動時の血圧反応は収縮期血圧の過大な上昇など若者に比して良好ではないために運動実施前にできる限り運動に対する反応の情報を的確に得る必要がある。つまり運動実施前に実施する生理的情報が運動時反応の良否の予測情報として得られることは極めて重要なことである。これまで運動時の血圧の反応については運動負荷の増加に伴って収縮期血圧は上昇し脈圧も増加する変化が一般的である。その際、拡張期血圧の変化は年齢や鍛錬度によって、上昇、不変および低下と様々な変化を示すことが報告されている。著者らは鍛錬者では運動時に必要な脈圧の増加を拡張期血圧を著しく下降させることで対応する良好な適応機制を示すことを報告した^(2,4,5,7,8,17)。そこで著者らは拡張期血圧の降下によって脈圧を確保する「若年型脈圧保持パターン、または鍛錬型脈圧保持パターン」、と逆に収縮期血圧の上昇によってそれを確保する「老人型脈圧保持パターン、または非鍛錬者脈圧パターン」の2つの脈圧保持パターンに分類した。その反応はトレーニングによって後者から前者の反応に変化するが、脱トレーニングによってその反応性は退行すること報告した^(7,8,17)。このように運動時の血圧反応には個人差があるので運動実施前の安静時血圧の測定は運動処方を行う際に必須である、しかしながら安静時血圧が正常値であることが必ずしも末梢血液循環が良いとは限らない場合⁽¹⁸⁾や運動時の循環の良否を予測できない場合がある。したがって血圧測定だけでは運動実施の安全性に対する循環情報としては不足であり運動時の血圧反応や末梢循環機能などの併用が必要であると考えられる。

そこで、本研究は加速度脈波計を用いた安静時の末梢血液循環の良否と運動時の血圧の反応性との関係を検討し、併せて、最大運動時の有酸素能力の指標としてVO₂maxの関係について比較した。

「研究方法」

1. 被験者

被験者は、20歳-23歳（平均男子21.1±0.28歳、女子21.0±0.33歳）の健常者20名（男子11名、女子9名）で積極的に実験に参加したものである。実験に先立ち研究責任者が被験者に実験内容を十分に説明し参加の了解を得た。

2. 運動負荷の設定

運動はキャットアイ社製の自転車エルゴメーター（Model EC-1600）を用いて毎分50-59の回転数で実施した。負荷は男子は0.5kpで開始し3分間隔で0.5kpずつ、女子は0.5kpから開始し3分間隔で0.3kpずつそれぞれ増加させ、目標心拍数に達した段階で終了した。目標心拍数はHRmaxResearveを用いて推定最大心拍数の80%強度に相当す

* 千葉大学

** (株)伊藤ハム

る心拍数とした。最大心拍数の80%の目標心拍数に達する時間は男子では平均23.5±0.89分(平均値±標準誤差)。女子では平均24.3±1.45分であった。

推定HRmaxは(220-年齢)から求めた。また、HRrestは運動前の15分間の安静中に5分間隔で3回(5分目、10分目および15分目)測定した値の平均値を用いた。

3. 測定項目

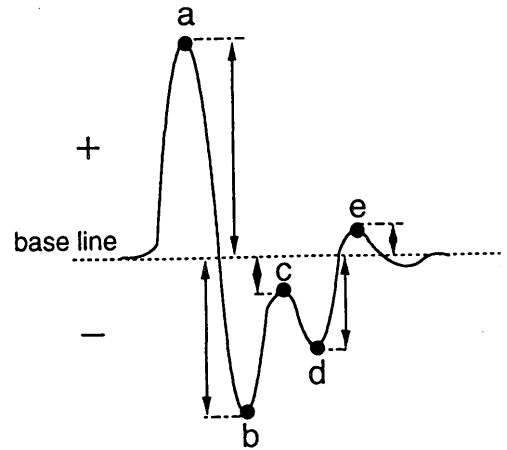
1) 血圧

血圧の測定は運動前では15分間の安静状態の間、5分間隔で3回(5分目、10分目及び15分目)、運動中では各段階の2分30秒から3分の間に測定を行った。

運動前及び運動後は座位で測定し、運動中はサドル上で測定した。血圧は右上腕部で、水銀血圧計を用いて聴診法で測定し、収縮期血圧はスワンの第1点を、拡張期血圧は第5点を採用した。測定はすべて同一人によって行われた。

2) 加速度脈波

加速度脈波は指尖容積脈波を2回連続微分したものであり、末梢循環の評価法として報告されている^(16,18,19)。測定はミサワホーム社製プリケアグラフAPG-200を用いて運動前と運動後に血圧と同時に座位で左手の第2指にて測定した。評価は総合的指標として加速度脈波係数(APGindex)を用いた(図1)。安静時の加速度脈波係数の値は安静時15分間のうち5分ごとに測定した3回の値を平均した。



$$\text{APG Index} = \frac{b/a \text{比} \cdot c/a \text{比} \cdot d/a \text{比}}{(-b+c+d)/a} \times 100$$

図1 加速度脈波の模式図と分析方法

3) 心拍数

心拍数は運動前と運動中に、血圧と同様の時間間隔で座位で行った。運動前と回復時の心拍数は加速度脈波計(ミサワホーム社製プリケアグラフAPG-200)によって測定された値を用いた。安静時心拍数は安静時の15分間中に5分間隔で測定された3回の値を平均した。運動中のすべての心拍数は、自転車エルゴメーター(キャットアイ社製: Model:EC-1600)付属のイヤースセンサーを用いて左耳朶から導出した。

4) 最大酸素摂取量(間接法)

前述した負荷漸増法による心拍数と負荷量の一次関数式から各人の推定最大心拍数(220-age)に相当する推定最大仕事量(watt)を算出した。この値ACSMの最大酸素摂取量の推定式^(1,11)に代入し各人の最大酸素摂取量を算出した。

なお、負荷漸増法による心拍数と負荷量の関係は実測値6点以上を用い全例において相関係数 $r=0.97$ 以上のものを採用した。

4. グループ分け

1) 安静時APGIndexの値による分類(以下:APG分類)

男子の平均値以上の者をA群(n=5, 平均80.8±6.69点)とし、以下の者をB群(n=6, 平均49.8±2.70点)とした。同様に女子の平均値以上の者をA群(n=4, 平均76.8±7.12点)とし、以下の者をB群(n=5, 平均41.5±2.71点)とした。いずれも2群間で有意な差が認められた(p<0.05)。

2) 最大酸素摂取量の値による分類(以下:V̇O2max分類)

男子の平均値以上の者をA群(n=5, 平均62.7±2.39ml/kg/分)とし、以下の者をB群(n=6, 平均51.3±0.82ml/kg/分)とした。同様に女子の平均値以上の者をA群(n=5, 平均52.3±2.79ml/kg/分)とし、以下の者をB群(n=4, 平均38.9±2.00ml/kg/分)とした。いずれも2群間で有意な差が認められた(p<0.05)。

5. 統計

測定値はすべて平均値及び標準誤差で示した。安静時に対する運動中の変化並びにA群、B群両群間の差の有意

差の検定を行った。運動中のA群, B群の検討は全員が共通に行った負荷について比較した。有意差の検定は対応のあるPaired T-testを用いて行い, 危険率5%未満を有意とした。

「結果」

1. 安静時のAPGindexと推定VO₂ maxの関係

安静時のAPGindexは男子では平均63.9±5.78点, 女子では平均は57.1±7.00点であり, 全体の平均は60.9±4.43点であった。推定VO₂ maxは男子では平均56.5±2.09ml/kg/分, 女子では平均は46.3±2.88ml/kg/分であり, 全体の平均は51.9±2.05ml/kg/分であった。男女を含めた両者の関係はr=0.444 (n=20)で, 有意な相関関係が認められた (p<0.05)。

2. 運動時心拍数 (図2, 3)

運動時の心拍数はいずれも安静時に比べ負荷の増加に伴って有意に上昇した (p<0.05)。APG分類 (図2) ではA群に比してB群がいずれも高値を示したものの有意な差が認められなかった。一方, VO₂ max分類 (図3) ではB群はA群に比し, 男子では113watt 時以上の, 女子では79watt以上のすべての負荷において有意に高値であった (P<0.05)。

3. 運動時血圧 (図4, 5)

収縮期血圧においては, 特にAPG分類 (図4) の女子の28watt時および45watt時でA群はB群に比して有意に低値を示した (P<0.05)。男子およびVO₂ max分類 (図5) では有意な差はみられなかった。

拡張期血圧においては, APG分類では女子が安静時から最終負荷を除く各負荷時においてA群がB群に比して有意に低値を示した (p<0.05)。男子ではA群が低値を示したものの有意な差ではなかった。コロトコフ音が0 mmHgまで

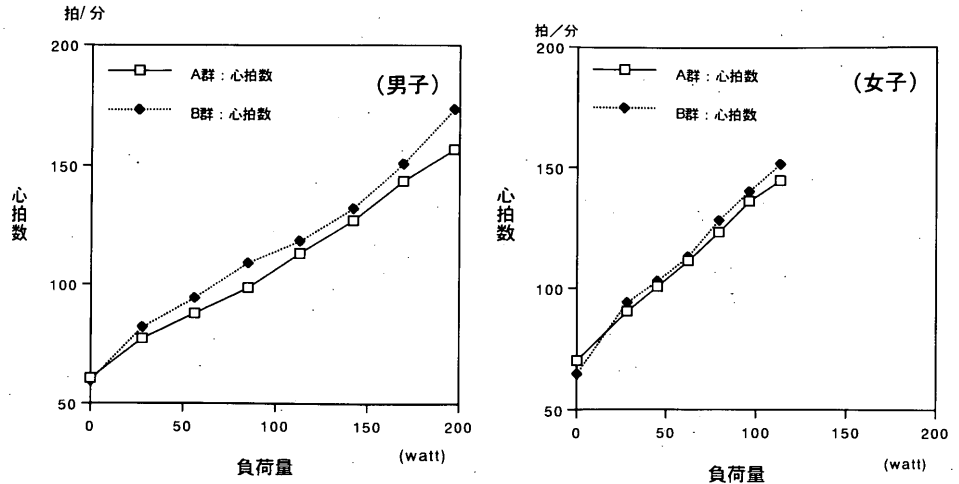


図2 APGindex分類からみた負荷量と心拍数の関係

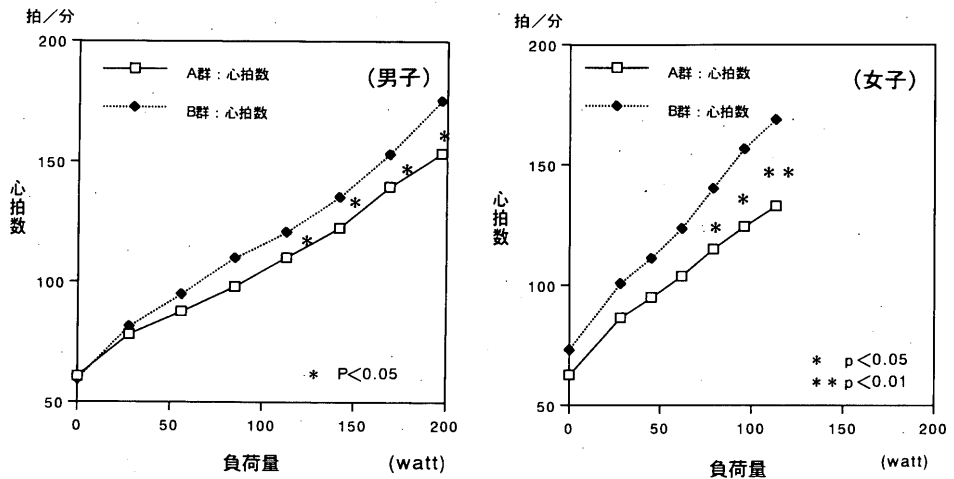


図3 推定VO₂ max分類からみた負荷量と心拍数の関係

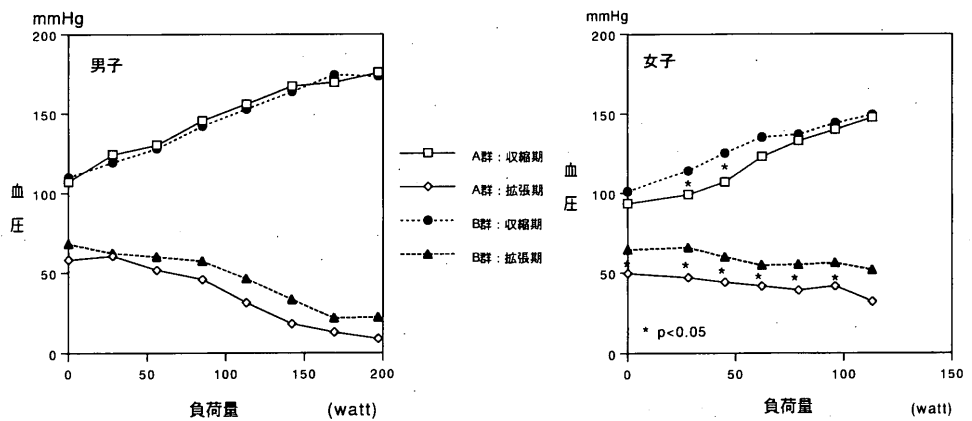


図4 APGindex分類からみた負荷量と血圧の関係

可聴できた者が20名中、男子6名、女子2名の計8名（A群5名、B群3名）に認められた。VO₂ max分類では両群で有意な差が認められなかった。コロトコフ音が0 mmHgまで可聴できた者が男子ではA群が3名、B群が3名、女子ではA群が2名、B群0名であった。

脈圧はいずれの分類においては、2群間では男・女共にA群がB群と比べて高値を示すものの有意な差が認められなかった。

4. 運動時の心拍数と血圧の関係 (図6)

収縮期血圧はいずれの分類においても心拍数の増加に伴って上昇を示したが、A、B群間では有意な差が認められなかった。拡張期血圧は逆に心拍数の増加に伴って下降の傾向を示した。APG分類では120拍/分時点で、A群は(29.8±7.74mmHg)はB群(53.6±3.29mmHg)に比して有意に低値を示した(p<0.05)。

しかし、140拍/分、160拍/分および目標心拍数時ではA群は低値を示すものの有意な差は認められなかった。

VO₂ max分類ではいずれも有意な差はみられなかった。脈圧ではいずれの分類においても2群間に有意な差は認められなかった。

相対運動強度 (図7) は、

収縮期血圧ではいずれの分類においてもA群、B群共に運動強度の増加に伴って上昇を示したが、2群間では有意な差が認められなかった。一方、拡張期血圧はAPG分類の40%と60%時において、A群はB群に比しそれぞれ有意に低値であった (p<0.05)。しかしVO₂ max分類では有意な差はみられなかった。脈圧はいずれの分類においても群間では有意な差は認められなかった。

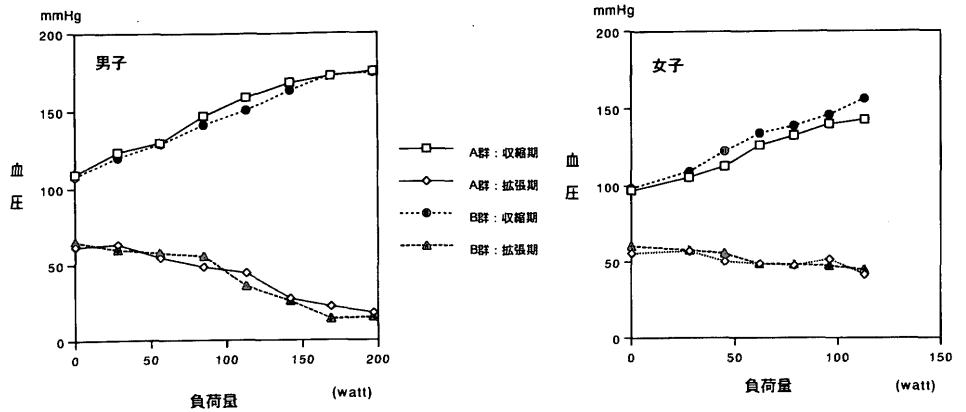


図5 推定VO₂ max分類からみた負荷量と血圧の関係

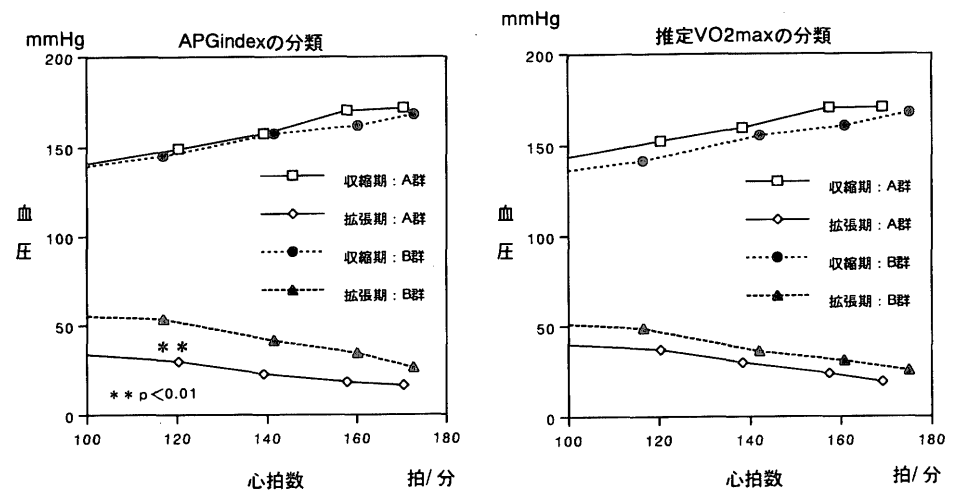


図6 運動中の心拍数と運動中の血圧の関係

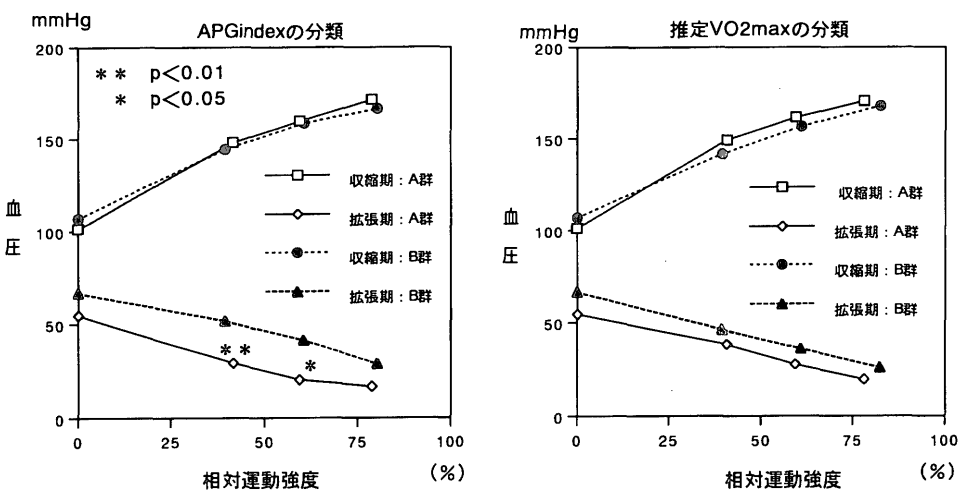


図7 40%、60%及び80%の相対強度運動中の血圧の関係

「考 察」

近年では中・軽症の高血圧症に対して食事や運動などの生活因子を変えることによって改善が可能であるとの研究報告が数多くなされるようになってきた^(1,3,6,8,10,17)。これらの報告は高血圧症の改善や血圧の安定に運動の実践が重要で根本療法として考えられるものであることを示すものと考えられる。そうした慢性疾患を含む運動処方の対象幅が大きく広がってくることはより注意深い運動処方が必要とされることを意味している。とくに安静時に行うヘルスチェックから運動時の反応やトレーニングの効果を予測することができれば運動時の安全性や運動の効果が一層高まるものと考えられる。

そこで、本研究は運動処方の際に重要な運動中の血圧の反応性に及ぼす影響について、安静時における加速度脈波係数 (APGindex) を用いた血液循環の良否と運動時の血圧反応について検討し、併せて、運動処方の際に、身体作業能の指標として用いられている推定 $\dot{V}O_2 \max$ (有酸素的作業能力) との比較からその関係を検討した。

収縮期血圧、心拍数および脈圧は運動負荷の増加に伴って上昇を示すのが一般的である。一方、拡張期血圧は直線的に下降を続ける者と、下降後ある段階において同水準を維持する者、あるいは若干の上昇を示す者など変化に個人差があった。このことは著者ら⁽⁸⁾がこれまで報告した「若年型脈圧保持パターン、または鍛錬型脈圧保持パターン」と「老人型脈圧保持パターン、または非鍛錬者脈圧パターン」の2つの脈圧保持パターンと類似した結果であった。

APGindex分類からみたA群の者は、拡張期血圧を著しく下降させコロトコフ音が0 mmHgまで可聴の者が多い鍛錬型脈圧保持パターンが多かった。運動時の最小血圧の変動については直接法による検討もなされているが⁽¹²⁾、鍛錬差に関しては聴診法による報告が多い。生山ら⁽²⁾によれば、青年や長距離ランナーでは運動負荷に伴って拡張期血圧は明確に下降してほとんどが0 mmHgにまで下降すると報告している。また、倉敷^(14,15)によれば運動強度が大きくなれば拡張期血圧の0値聴取率が多くなり、さらに、トレーニングによっても0値発現時間が早くなると報告している。したがって、0 mmHgの可聴が多かったA群はB群と比べてより良好な運動適応を示しているといえる。つまり、安静時におけるAPGindexが高い者は運動時の血圧の反応性も良好であり、低負荷でも著しく拡張期血圧を下降させる運動適応を示すといえる。相対運動強度からみると40%および60%強度で拡張期血圧はB群に比してA群が有意に下降を示した。このことからA群の者は低強度・中強度の水準で拡張期血圧が著しく下降する良好な反応を示したものと見える。しかし、140拍/分以上(60%以上)の水準になると多くの者が拡張期血圧を著しく下降させる⁽⁷⁾ためにこの水準ではいずれの群でも末梢血液循環が良好になったものと考えられる。

一方、 $\dot{V}O_2 \max$ 分類(有酸素的作業能力)からみた比較においては、これまで長距離ランナーや最大酸素摂取量の高い者ほどコロトコフ音が0 mmHgまで可聴され、運動時の拡張期血圧の反応性が全身持久性の能力と密接な関連があると報告されている^(2,7)。しかし、今回の実験では男女共にA群がB群に比して拡張期血圧が有意に低値を示すことはなかった。これは被験者がスポーツ科学を専攻する比較的同質の若年者集団であり、かつ $\dot{V}O_2 \max$ が間接法による分類であったことが原因の一つであるとも考えられる。

多くの現場において実施されている呼吸循環機能の体力指標としての $\dot{V}O_2 \max$ の評価と比して、安静時のAPG index(末梢血液循環)の良否の評価の方が運動時の血圧反応の違いが明確に示される可能性があることが示唆された。このことは $\dot{V}O_2 \max$ の間接法は全身持久力の指標として運動時の心拍数の変化を評価するのに適しているが、血液循環動態そのものを評価するものではないことによると考えられる。

したがって、加速度脈波による安静時の末梢血液循環を評価することは運動時の血圧反応を予測できる可能性を示すものである。スポーツ施設等において高齢者、肥満者など、各種疾病者の健康づくりに際して運動時の事故を防ぐには可能な限り安静状態の評価によって運動中の血圧反応が予測できれば最善である。その意味において加速度脈波は特に体力低位者、中、高齢者に対して運動前の有効なヘルスチェックの1項目と考えられる。今後中高年者を対象とした検討が必要である。

「まとめ」

安静時のAPGindex（末梢循環の指標）と $\dot{V}O_2 \max$ （有酸素的作業能力）の判定分類から運動中の血圧の反応性を評価するために、健康な男女20名を対象に自転車エルゴメーターによる漸増負荷を実施した。それぞれの指標において平均値以上の者をA群、平均値以下の者をB群に分類して検討した。結果は以下のようにまとめられる。

1. APGindexの平均は 60.9 ± 4.43 点、推定 $\dot{V}O_2 \max$ の平均は $51.9 \pm 2.05 \text{ ml/kg/分}$ であった。両者の間に有意な正の相関関係が認められた ($r=0.444$ $p<0.05$)。

2. APGindexの分類では、収縮期血圧は両群で有意な差が認められなかった。拡張期血圧は特に女子ではA群は運動中著しく下降し0 mmHgまで可聴できるものが多く、B群に比して低値を示した。心拍数と拡張期血圧の関係では120拍/分時に、さらに相対運動強度の40%および60%強度でA群はB群に比してそれぞれ有意に低値を示した ($p<0.05$)。

3. $\dot{V}O_2 \max$ の分類では、収縮期血圧および拡張期血圧のいずれもA群・B群の間で有意な差を認めなかった。

4. 以上の結果から、安静時のAPGindexの良好な者では運動中の血圧の反応性、特に拡張期血圧の良好な反応性と関連していることが示唆された。このことは健康づくりの実践に際して運動前のヘルスチェックの項目の一つとして安静時の末梢循環（APGindex）の評価をに加えることが有用であることを示している。

「参考文献」

- 1) American College of Sports Medicine: Position stand on the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. Med.Sci.Sport Exerc. 22:265-274,1990
- 2) 生山匡, 荒尾孝, 今野廣隆, 片岡幸雄, 和田光明, 佐野裕司, 小山内博: 中高年者, 青年長距離走鍛練者及び一般青年の運動中の血圧変動, 体力研究, 42: 34-46, 1979
- 3) 片岡幸雄, 生山匡, 和田光明, 佐野裕司, 小山内博: 身体トレーニングが高血圧症の改善に及ぼす効果に関する研究, 体力研究, 36巻, 52-66, 1977
- 4) 片岡幸雄, 今野廣隆, 片岡伊津美: リズム運動トレーニングを实践する中年婦人の運動負荷に対する心拍-血圧の反応, 千葉体育学研究, 3: 4-6, 1980
- 5) 片岡幸雄, 今野廣隆, 片岡伊津美: 安静時並びに運動中の血圧に及ぼすエアロビックリズム運動のトレーニング効果: 千葉体育学研究5: 14-23, 1983
- 6) 片岡幸雄, 生山匡, 和田光明, 佐野裕司, 今野廣隆, 川村協平, 小山内博: 身体トレーニングが高血圧症の改善に及ぼす効果に関する研究(第3報)-高血圧症改善のための運動条件の検討-, 体力研究, 55: 41-54, 1983
- 7) 片岡幸雄, 今野廣隆, 佐野裕司: 自転車エルゴメーターによる最大下並びに最大運動時の血圧変動, 千葉大学教養部研究紀要, B-18, 151-161, 1985
- 8) 片岡幸雄, 佐野裕司, 西田明子, 藤田幸雄, 小山内博: 運動負荷時の血圧反応からみた高血圧者に対する運動の効果, 千葉体育学研究, 16: 63-89, 1992
- 9) 片岡幸雄, 佐野裕司, 生山匡: 心拍数を100, 120, 140および160拍/分に規定した1時間ランニング時の血圧変動, 千葉体育学研究 18: 49-56, 1994
- 10) 鎌田哲朗, 椎名進, 板垣晃之, 漆原彰, 瀬山房江: 軽症高血圧・糖尿病に対する運動療法の効果-企業における健康管理のころみ-日本医事新報, 2815, 27-32, 1978
- 11) Kenney, W.L., Reed H, Humphrey and Cedric X. Brayant: ACSM's Guide-lines for Exercise Testing and Prescription, 5th ed. A Waverly Company 1995
- 12) 黒田善雄, 田村光子, 豊田博, 小山秀哉, 水野忠和: 直接法による運動時の血圧-特に最小血圧の動向-, 東京大学教養学部体育学紀要, 4: 47-57, 1967

- 13) 倉敷千稔：身体運動により聴取可能になる動脈音の意義及び発現に関する研究(1) —運動後の肘窩部動脈が聴取可能になるまでの時間の鍛練度判定指標値について—, 三重医学, 13 : 111—116, 1969
- 14) 倉敷千稔：身体運動により聴取可能になる動脈音の意義及び発現に関する研究(2) —運動開始後肘窩部動脈が聴取可能になるまでの時間の鍛練度判定指標値について—, 三重医学 13 : 225—228, 1969
- 15) 小山内博, 佐野裕司：腰痛症と頸肩腕症候群の発生要因, 診断, 予防に関する研究, 労働科学, 55(2) 83-100.1979
- 16) 小山内博, 片岡幸雄, 生山 匡, 佐野裕司, 今野廣隆, 西田明子：血液循環装置としての加速度脈波計, 東京都立多摩スポーツ会館会報, 第15報, 1983
- 17) 小山内博, 片岡幸雄, 生山 匡, 佐野裕司, 今野廣隆, 渡辺 剛, 西田明子, 和田光明, 川村協平：多摩スポーツ会館における健康づくりの理論と実際, 東京都教育振興財団多摩スポーツ会館, 1991
- 18) 佐野裕司, 片岡幸雄, 生山 匡, 和田光明, 今野廣隆, 川村協平, 渡辺 剛, 西田明子, 小山内博：加速度脈波による血液循環の評価とその応用, 労働科学, 61(3) : 129—143, 1985
- 19) 佐野裕司, 片岡幸雄, 生山 匡, 今野廣隆, 川村協平, 渡辺 剛, 西田明子, 小山内博：加速度脈波による血液循環の評価とその応用(第2報) —波形定量化の試み—, 体力研究, 63 : 17—25, 1988

Effect of resting Accelerated Plethysmography and predicted $\dot{V}O_2 \max$
on blood pressure during bicycle ergometer

by

Yukio KATAOKA and Takeki IWATA
(Chiba University and Ito Ham Inc.)

Abstract

To clarify the effect of resting Accelerated Plethysmography (APG) and predicted $\dot{V}O_2 \max$ on blood pressure during bicycle ergometer, 20 healthy male and female university students served as the subjects. Subjects were divided into two groups of the above (A-group) and the below (B-group) of mean value of resting Accelerated Plethysmography (APG) and predicted $\dot{V}O_2 \max$. Results are summarized as the follows.

- 1) There was a significant relationship between resting APG index and predicted $\dot{V}O_2 \max$ value ($p < 0.05$). Mean values was $60.9 \text{ points} \pm 4.43$ in resting APG index, and $51.9 \text{ ml/kg/min} \pm 2.05$ in predicted $\dot{V}O_2 \max$.
- 2) In the two groups classified by resting APG index, there was no difference in systolic blood pressure during bicycle ergometer both male and female, however A-group in female was more significant decrease than B-group in diastolic blood pressure. Diastolic blood pressure in A-group decreased more significant than B-group at the level of 120 beats/min of heart rate ($p < 0.05$), and at the level of 40% and 60% of maximum heart rate reserve ($p < 0.05$).
- 3) There were no significant differences between two groups of predicted $\dot{V}O_2 \max$ in systolic and diastolic blood pressure during bicycle ergometer.
- 4) From the above mentioned, it suggests that resting APG is one of a effective measure to predict the blood pressure responses during exercise.