



Title	長時間走後に招来する血圧低下と末梢血管系の動態
Author(s)	小原, 達朗
Citation	長崎大学教育学部自然科学研究報告. vol.33, p.141-147; 198
Issue Date	1982-02-28
URL	http://hdl.handle.net/10069/32605
Right	

This document is downloaded at: 2018-02-24T12:16:02Z

長時間走後に招来する血圧低下と末梢血管系の動態

小 原 達 朗

長崎大学教育学部保健体育教室
(昭和56年10月31日受理)

Decrease of Blood Pressure and Fluctuation of Peripheral Vessel System after the Long Time Running

Tatsuro OBARA

Department of Health and Physical Education Faculty of Education
Nagasaki University, Nagasaki
(Received Oct. 30. 1981)

Abstract

In order to elucidate the Negative phase of systolic blood pressure after the long time running, university athletes (6 males) were participated long distance running for about two hours. The examination items were dirotic index (DI) that expresses caliber of peripheral vessels, elastic rate of peripheral vessels (ER), impedance index of vessels (VII), impedance of peripheral vessels (W), blood pressure and body weight. The results were summarized as follows.

Systolic blood pressure (SBP) reached to highest value at 30 minutes of running and gradually decreased from this time regardless of constant of vasodilatation. Since the changes of SBP and body weight was parallel, a cause of decreased SBP was considered decrease of plasma volume on sweating i. e. decrease of stroke volume. And, SBP already fall into Negative phase of 8 minutes of recovery. It was considered that this cause was decrease of stroke volume and due to continue vasodilatation, as DI kept on decrease during recovery.

On the method for calculation of characteristics index of peripheral vessels, in spite of the methods of measurement was difference, W was showed same tendency as DI and VII. Therefore, it was proved that both methods was useful.

緒 言

長時間走に対する循環系の応答のひとつとして、収縮期血圧が、運動後に運動前値、すなわち、安静値を下回るところの Negative phase があげられる²⁾⁵⁾⁶⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹²⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾。小原ら¹⁴⁾は、10km, 25km, 42km 走の走行前後の血圧を測定し、安静値の高い者ほどまた、走行時間が延長するほど走行後の Negative variation の程度の大きいことを報告し、長時間運動が生体へ大きな影響を及ぼすことを指摘している。そして、その原因が、主に発汗による脱水現象に伴う血漿量の減少、Stroke volume の減少、あるいは、血管壁の硬化によることを示唆してきたが、血圧の調節には、さらに神経性、体液性に細動脈への drive が行われており、末梢血管の拡張も考えられる。

そこで、本研究では、以上のような血圧の変動が運動の如何なる時点で生ずるのかについて、指尖容積脈波から得られる血行力学的指数で、細動脈口径に関わる切痕係数、細動脈弾性率および血管抵抗指数など、特に、末梢血管系の動態に着目して検討しようとするものである。

研 究 方 法

1 被 験 者

被験者は、男子大学生 6 名で、陸上長距離選手 5 名、ラグビー選手 1 名である。いずれも安静時収縮期血圧 (SBP) は 116~128mmHg, 拡張期血圧 (DBP) は 54~70mmHg で正常範囲にあり、形態的にも一般的なものである。

2. 測定方法

血圧は、水銀血圧計による聴診法により、安静時、運動直後および回復時とも椅座位により測定した。

指尖容積脈波は、三栄測器製・総合校正脈波計を用いて胸部双極心電図と同時に測定した。脈波からは、細動脈口径に関わる切痕係数 (DI)、細動脈弾性率 (ER) および血管抵抗指数 (VII) などの細動脈特性を表わす指数を算出した。

また、Masuda¹¹⁾は、末梢血管抵抗 (W) について Windkessel 理論から次のような式を導き出し、運動負荷時および回復過程の変動を観察している。

$$W = \frac{1}{\log \left(\frac{SBP}{DBP} \right)} \cdot D \cdot E$$

W の単位は、 $\text{sec} \cdot \text{dyne} \cdot \text{cm}^{-3}$ で、E は、容積弾性率、D は、拡張期すなわち (1 心拍時間 T - 拍出時間 Tc) である。ここで正常心電図での $Tc = kQT$ は、運動時においても変わらないとすれば、 $k = 0.47$ が得られ、また、Holzman と Hegglin の式 $QT = 0.39\sqrt{T} \pm 0.04$ を利用すると

$$D = (1 - 0.47 + 0.39)\sqrt{T}$$

となる。なお、E は、一定とおく。

したがって、脈波のとくにVII との対比のために同時に測定した。

体重は、支持体重計を用いて10gの単位まで計測した。この際の着衣は、素足でランニングパンツのみであった。

以上の項目について図1に示すように、約120分間のランニングを4つの相(Phase I~IV)に分けて、約30分ごとにランニングを中断し、その直後30秒以内に血圧を、その後30秒以内に脈波と心電図を測定し、そののちに体重を測定した。この間、着替えて再び走り出すまでの時間は、約3分弱であった。また、phase IVまで走行後、約8分、14分、20分目に回復時の血圧、脈波、および心電図について同様に測定した。

室温は、22°Cに保ち、体温は、冷えないように常時、汗取りを行った。

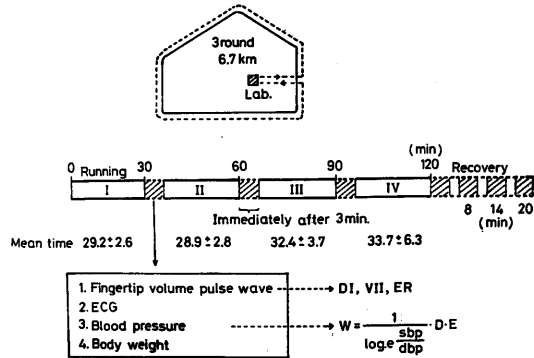


図1 測定の方法と項目および各 phase (6.7km) の平均所要時間

Fig. 1 Methods and items of measurement and mean time on each phases.

結果と考察

1. 走行スピード

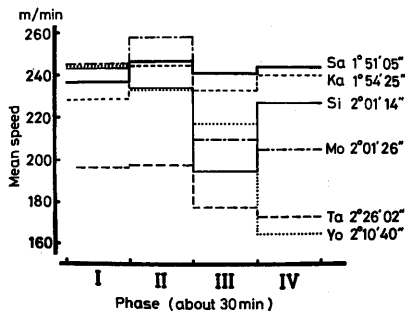


図2 各被験者の各 phase ごとの平均スピードの変化と所要時間

Fig. 2 Changes of mean speed per each phases and the time required on each subjects.

各被験者の 6.7km (1 Phase) の平均走行スピードは、図1に示したように、Phase I 29.2 ± 2.6分、Phase II 28.9 ± 2.8分、Phase III 32.4 ± 3.7分、Phase IV 33.7 ± 6.3分であった。個人的には図2のようにSaとKaが、最も速く平均240m/分で一定ペースであり、Siは、Phase IIIにペースダウンし、Phase IVで回復した。Mo, Ta, Yoは、後半に漸時ペースダウンした。

2. 心拍数と血圧の変動

図3は、安静時、各Phase直後および回復時の心拍数(HR)、SBP、DBPおよび脈圧(PP)の変動について示したものである。成人のHRは、運動直後約30秒目ではおよそ20拍ほど減少する¹³⁾ので、ランニング中は約120~130拍であったと考えられる。したがって運動強度としては、60~70% HRmaxであったと推察される。回復時には急速に減少するが20分目までに安静値まで回復していない。

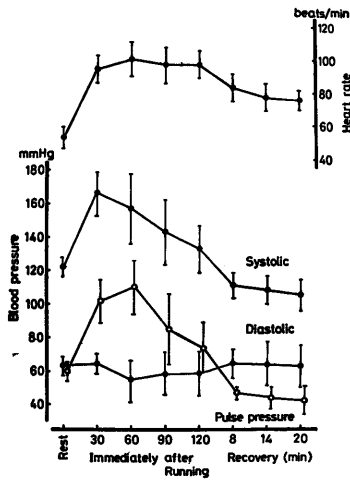


図3 HR, SBP, DBP およびPPの運動時と回復時の変動

Fig. 3 Changes of HR, SBP, DBP, and PP during running and recovery.

3. 末梢血管系の変動

図4は、安静時、各Phaseおよび回復時のDI, VII, W, ER および W・ER について示したものである。末梢血管抵抗の指標となるDI, VII およびWは、いずれもPhase Iで急速に低下して血管拡張を示している。しかし、回復時においてWが急速に回復するのに対し、DI およびVIIでは緩徐である。この変動の違いの原因として考えられることは、Wの算出式においてMasuda¹¹⁾は、容積弾性率、Eを一定とした点であろう。細動脈ではあるが、本結果のERは、ランニング中上昇し、回復時には低下しており、大きな変動を示している。そこで、便宜的にWの式のEにERの値を代入するとW・ERのような変動を示した。これは、DIやVIIの変動に近いものであり、Wのみで末梢動脈の抵抗を表わすことに対して検討を要することも考えられる。

表1は、SBP, DBP, PP およびWとDI, W および平均スピードとの相関係数を示したものである。末梢血管抵抗に関するDIとWの相関

ランニング中の血圧についてもHRと同様に運動直後値から推察し、SBPとPPはStroke volumeの減少を考えると、多少高値を示すと考えられるが、運動後30秒目で十分運動中の値を反映するものと考えられる。SBPは、Phase Iで165mmHgまで上昇し、以後Phase II, III, IVと時間の経過とともに低下し、回復8分目では安静値を下回りNegative phaseに陥り、20分目まで低下傾向を示した。PPも、SBPと同様の変動であった。DBPは、ランニング中には多少低下傾向にあり回復時に安静値にもどった。

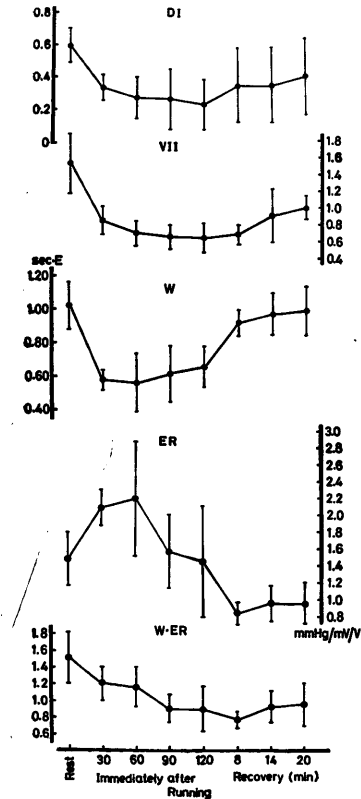


図4 末梢血管性指数の運動時と回復時の変動

Fig. 4 Changes of characteristics index of peripheral vessels during running and recovery.

係数は、0.449 ($P < 0.01$)で、図4の変動と同様に両者には関連性が認められる。しかしながら、WとSBP、DBPおよびPPの間にはいずれも高い相関があるのに対し、DIとSBP、DBPおよびPPの間ではDBPとのみ有意の相関があり、DIとWは、同様には評価できないことも示唆される。この違いは、KarpovichとSinning⁷⁾が、SBPやPPは、心臓の仕事の変量であり、動脈が受ける緊張の大きさを示しており、DBPは、血液循環に対する末梢抵抗の大きさを示すもので、血管運動神経の緊張をあらわす指標であると述べているように、心臓に対する作業負荷である走行スピードとSBPやPPとは高い相関があり、また、WとSBPおよびPPは、負の相関が、PPとは正の相関が得られたのは、このような血管特性の差によるものと考えられる。さらに、ランニングによるSBPおよびPPの上昇にもかかわらず末梢血管抵抗が減少することは、DIの変動に認められるように末梢血管の拡張によるものと考えられる。

一方、末梢血管の緊張あるいは収縮は、DBPの上昇をもたらすが、CarlstenとGrimby⁸⁾も、運動強度が強くなるほど末梢抵抗が小さくなると報告し、運動中の末梢抵抗の減少にもかかわらず心拍量が増加がSBPを上昇させると述べている。

4. SBPのNegative Variationについて

図5は、HR、SBP、DBP、PP、DI、ERおよびWの安静値を基準とした変動の割合(%)を各Phaseと回復時について示したものである。また、運動中の体重の変動率と平均スピードの平均値についても示した。各パラメーターの変動のパターンは、前述したとおりである。SBPは、Phase Iから漸減しており、SBPに影響を及ぼさずと考えられる運動強度すなわち平均スピードとは必ずしも対応していない。PPは、平均スピードの変動と合致しており、一般に、PPは、Stroke

表1 血圧と末梢血管特性指数の主なパラメーターの相関

Table 1 Correlation of principal parameter between blood pressure and characteristics index of peripheral vessels.

	DI	W	Mean speed
SBP	-0.060	*** -0.764	** 0.578
DBP	*** 0.462	*** 0.507	0.116
PP	-0.230	*** -0.899	* 0.419
W	** 0.449	-	-

*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$ ***: $p < 0.001$

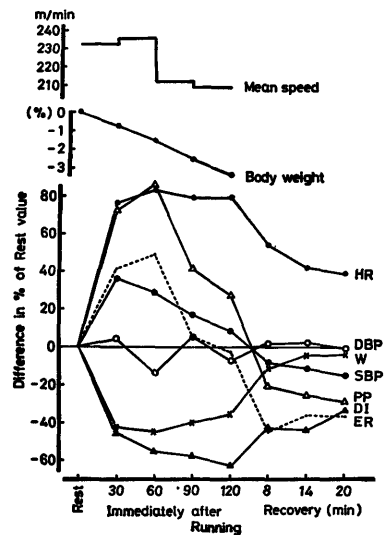


図5 安静値を基準とした運動時および回復時のHR、SBP、DBP、PP、DI、ER、およびWの変化率と平均スピードおよび体重の変化

Fig. 5 Rate of changes in HR, SBP, DBP, PP, DI, ER and W on the basis of rest value during running and recovery, and changes in mean speed and body weight.

volume (SV) を反映すると言われているが、HR は、ランニング中ほぼ一定であり、また、DI は、低下傾向、W は、低下し上昇する傾向を示しているが、図 4 にあるように有意の変動ではなく、ほぼ一定と考えられる。したがって、SV の低下が PP の低下を生じ、SBP の低下を引き起したものと考えられる。SV の低下の原因は、主に発汗による脱水現象が考えられる。ここで、体重の変動によって脱水による血漿量の減少を推測すると、本結果では、体重が phase I で平均 0.45kg (0.77%)、phase II で 0.95kg (1.58%)、phase III で 1.53kg (2.55%)、phase IV で 2.03kg (3.4%) 減少している。この変動は、SBP の変動とよく一致しており、ランニング中の SBP の低下は発汗による血漿量の減少によって SV が減少したためであると考えられる。

Åstrand と Saltin¹⁾ は、6 人の被験者について外気温約 0°C の 85km クロスカントリー スキー前とレース後 1 時間後に水分代謝を調査して体重が 3.9kg (5.5%) 減少し、水分損失は 5.9ℓ に達し、また、血漿量は 0.4ℓ (11%) 減少したと報告している。一方、Saltin と Stenberg¹⁹⁾ は、75% $\dot{V}O_2\max$ の負荷で 3 時間 treadmill または bicycle ergometer を用いて運動し、その結果、体重が 3.1kg (3.2~5.2%) 減少したが血漿量は 5% 以下の減少であり、SV は 126ml から 107ml に減少し、SBP、DBP、および MeanBP が約 10% 低下したと述べている。この点に関して Saltin¹⁸⁾ や Ekelund⁴⁾ は、脱水状態では心拍出量がほとんど変わらないのに HR が上昇するので SV が低下すると指摘している。

小原ら¹⁴⁾ は、10km、25km、42km 走において体重がそれぞれ 2.1%、4.0%、5.2% 減少し、SBP、DBP および MeanBP は距離が長いほど Negative Variation の度合いが大きいことを報告し、長時間の運動になるほど発汗による脱水現象から SV の低下が大きくなることを示唆している。

ところで、SBP は、回復 8 分目ですでに Negative phase に陥っており、20 分目までさらに低下傾向にあるがほぼ一定である。PP についても同様である。一方、W は、急速に回復するが、これは、PP の変動とよく逆対応しており、SV の減少が末梢血管の抵抗を低下させるものと考えられる。しかしながら、DI は、回復時においても依然として血管口径の拡張を示しており、SBP の Negative variation は、発汗による SV の低下と回復時の末梢血管の拡張が主因であり、さらに、このような Vasodilatation を招来させる神経性、体液性の血管調節因子が一因であると考えられる。

要 約

男子大学運動選手 6 名に約 2 時間の長距離走を行わせ、長時間走後に招来される Negative phase について明らかにするためにランニング 30 分ごとの 4 相に分けて各相のランニング中断直後と回復時の細動脈口径指数である切痕係数 DI、細動脈弾性率 ER、血管抵抗指数 VII、末梢血管抵抗 W、血圧、心電図および体重を測定した。

その結果、次のような点が明らかになった。

収縮期血圧 SBP は、走行 30 分目の測定を最高に血管拡張が一定であるにもかかわらず漸時減少した。この原因は、SBP と体重の減少が平行しており発汗による血漿量の減少

すなわち SV の減少によるものと考えられた。

SBP は、回復 8 分目ですでに Negative phase に陥っており、この原因は、SV の低下と DI が回復中低下したままであることから細動脈の拡張が持続しているためであると考えられた。

末梢血管特性指数の算出方法について、測定方法の異なる W は ER を考慮することにより VII や DI と同様の傾向を示すことが明らかになった。

本研究の要旨は、第35回日本体力医学会総会（栃木、1980）において発表した。

参 考 文 献

- 1) Åstrand, P-O. and B. Saltin, J. Appl. Physiol. 19, 829-832 (1964)
- 2) Bowen, W. P., Amer. J. Physiol. 11, 59-77 (1904)
- 3) Carlsten, A. and G. Grimby, The Circulatory Response to Muscular Exercise in Man. Charles C, Thomas (1966)
- 4) Ekelund, L. G., Acta Physiol. Scand. 68, 382-396 (1966)
- 5) 福原 浩, 国民衛生 2 (2), (1924)
- 6) 福原 浩, 国民衛生 3 (3), 446-464 (1925)
- 7) Karpovich, P. V. and W. E. Sinning, 石河利寛訳 新版・運動の生理学 p. 271 ベースボールマガジン社 (1976)
- 8) 北村直躬, 生理学研究 1 (7) (1924)
- 9) 北村直躬, 生理学研究 1 (8) (1924)
- 10) Lowsley, O. S., Amer. J. Physiol. 27, 446-466 (1911)
- 11) Makoto Masuda, Bull. Phys. Fitness. Res. Inst. 11, 17-23 (1967)
- 12) 村上長雄, 川井 浩, 太田節子, 高島慎助, 古木 柁, 佐藤陽吉, 倉敷千稔, 岩野悦真, 水田勝博, 中田健次郎, 武部吉秀, 体力科学 24 (1), 11-24 (1975)
- 13) 小原達朗, 長崎大教育教育研報 (4), 193-206 (1981)
- 14) 小原達朗, 小川新吉, 浅野勝己, 古田善伯, 藤牧利昭, 矢野徳郎, 富原正二, 体力科学 30 (3), 137-147 (1981)
- 15) 小川新吉, 浅野勝己, 古田善伯, 藤牧利昭, 小原達朗, 矢野徳郎, 富原正二, 永井信雄, 東京教育大スポーツ研究所報 13, 1-14 (1975)
- 16) 小野三嗣, 波多野義郎, 倉田 博, 体力科学 22 (3), 81-84 (1973)
- 17) 酒井卓造, 砂田恵一, 千葉医学会雑誌 2 (2), (1924)
- 18) Saltin, B., Acta Physiol. Scand. 62 Suppl. 230 (1964)
- 19) Saltin, B. and Stenberg, J. Appl. Physiol. 19, 833-838 (1964)