

精神情緒刺激及び静的作業負荷時の 指尖容積微分脈波について

竹 宮 隆・藤 田 紀 盛・吉 田 茂
佐 藤 卓・井 福 裕 俊

Decrease of delta DPG-P wave amplitude evoked by mental arithmetic and static muscle work

Takashi TAKEMIYA, Tatsumori FUJITA, Shigeru YOSHIDA
Takashi SATOH, and Hirotohi IFUKU

Basic experiments on differential digital plethysmogram (Δ DPG) and the influences of mental arithmetic and static muscle work on the Δ DPG were studied in eleven, healthy male subjects.

1) For obtaining the frequency-dependent changes of Δ DPG-P wave amplitude via preamplifier with the time constant of 0.03 sec, model experiments were performed by sine wave and/or rectangular wave. In the range of 1 to 3 Hz, sine wave produced approximately two fold of amplitude increase whereas the rectangular showed no change. Input of DPG and/or ECG wave seem to produce the same pattern as the rectangular one.

2) Δ DPG-P wave amplitudes in hand and foot were compared by the simultaneous recording, and low amplitude in Δ DPG-P wave and slow response in the time-dependent change of the wave amplitude were observed in foot.

3) Δ DPG-P in mental stimulation decreased rapidly whereas heart rate showed the gradual increase.

4) Δ DPG-P in static finger exercise decreased rapidly with the increase of work intensities whereas heart rate showed the work dependent increase.

It seems reasonable to conclude from these data that the decrease in Δ DPG-P wave amplitude can be derived from the decreasing influence of cardiac output (SV) via sympathetic nerve activity.

I 緒 言

指尖容積脈波の研究はこれまで心臓・血管系の病態指標として臨床医学の分野で^{13,14)}、また、情動反映の指標として心理学の分野で成果をあげてきた^{10,11,12)}。同じく、運動生理学の分野においても、顕著な基線動揺を考慮しつつ、運動時の特色が観察されている^{3,4,7)}。著者らは先の報告にも述べた通り、運動時の心臓-血管応答を知るうえで指尖容積脈波 (DPGと略称する) の正確な記録は有益であるが、運動時の基線動揺が余りに激しいためにその脈波成分のうちP波 (縮期峰) の波高だけで

も限定的に活用できないものかと考え、運動時における指尖容積微分脈波 (Δ DPGと略称する) のかたちで分析結果を報告してきた^{8,9)}。

本論では、同じ手法すなわち指尖容積脈波を交流増幅器で時定数処理すること、微分脈波P波高の連続的な変化を標準外の低速で記録してその patterns を検討することなどにより、P波高に及ぼす心臓と血管系の各変動要因についてその関与度を観察しようとするねらいをもっている。このため、負荷型式には精神作業負荷と静的筋作業負荷を選び、その反応を修飾すると思われる神経性調

筋についても分析の必要から瞬時心拍速度と呼吸曲線の同時記録を実施した。著者らはこのような実験を通じ、 Δ DPG-P波の生理的意味をさらに吟味し、運動生理学の領域に応用すべき方途を開きたいと願うものである。

II 実験方法

1. 被験者

本研究の基礎実験、精神作業実験及び静的筋作業実験に関係した被験者は11名の健常な青年男子であり、年齢は21~28歳であった (Table 1)。前報と同様に^{8,9)}、今回の実験に於いても被験者の一般的な脈管特性を知るために、あらかじめ標準の指尖容積脈波を記録し、基礎的な分析が複雑にならないよう正規の脈波を有する被験者を優先的に採用した。

2. 測定

指尖容積脈波 (DPG) の測定は校正脈波計 (MLV-2201, 日本光電製) によった。詳細は前報^{8,9)}を参照されたい。指尖容積微分脈波 (Δ DPG) はDPG出力を微分回路 (時定数0.03秒) を有する交流前置増幅器に再導入したものである。この時定数は基線動揺を考慮に入れた予備実験の結果にもとづいてきめられたのであり、微分波振幅の表示はmV/Vである。この微分波のなかで本実験が対象とする波形はP波高である。

その他の測定としては精神電流現象 (GSR-2100, 日本光電製)、瞬時心拍速度 (beats/min)、呼吸曲線などを同時記録した。これらはすべて4 channelの熱ペンレコーダー付き polygraph で記

録した。測定はすべて環境温の安定な室温条件のもとに仰臥位で実施した。

3. 実験計画

はじめに Δ DPG導出に関する基礎研究を行い、心拍数の上限を180拍/分と仮定した場合の特定時定数下の周波数変化と微分波振幅の問題をそれぞれ正弦波と矩形波について実験することにした。

また、脈波ピックアップの位置が心臓に近接する脈管と遠方にある脈管の Δ DPG応答性について実験を計画した。

次に主実験である精神作業時の Δ DPG-P波高の測定はcontrol→カード表示→視覚入力→暗算負荷の開始→同終了→経過の順で行った。 Δ DPGとHRの同時測定は生理的に重要な意義があると思われ、常に平行して導出した。

静的筋作業時の Δ DPG-P波高の測定は改良型のMosso ergometerの活用とその荷重負荷のセットで行なった。この局所性の手指屈伸運動は他側の第2指によるものである。この指を介する測定と負荷は次の通りである。第2指付着のワイヤー→張力トランスジューサー→指の運動距離自動計測→角度変換用滑車→下垂型規定重量 (kg)。最大指屈筋力とは連続3回の指屈伸で持ち上げられる最大の重量 (kg) のときに得られたものを言い、この重量をめやすにその30%, 50%, 70%の負荷を設定した。Mosso ergometerの活用は確かに局所的な負荷であり、局所の疲労による張力の減少は予想されるが、指先の単なる負荷もその背景には全身性の身心的な負荷が考えられ、指運動の振幅過程と心臓血管反応の対応を精神・神経系との関係で

Table 1 Physical characteristics of subjects.

Subj.	Age	Height	Weight	Heart rate*	Blood pressure*	Maximal finger flex strength
(male)	(year)	(cm)	(kg)	(beats/min)	(mmHg)	(kg)
S. W.	21	172	67	52	125/78	7.0
T. N.	23	174	65	62	118/76	7.5
K. I.	22	175	68	53	120/72	8.0
K. K.	22	171	63	62	134/82	8.5
S. H.	24	168	72	46	118/76	10.0
T. T.	24	175	65	45	110/74	10.0
H. I.	24	166	59	62	128/80	10.5
M. O.	27	160	64	54	136/76	11.0
Y. Y.	28	165	68	59	118/72	11.0
M. M.	24	178	65	53	120/72	11.5
C. N.	21	167	75	56	114/68	16.0

* measurement at rest

観察しようと計画した。

4. データ処理

Δ DPGのmV/V値, 筋力レベルなどに個体差がみられるので, 負荷前値を十分な安静値(control)と考え, それに対するパーセント表示でデータの処理を行った。但し, 負荷間の変化量に関する差異については対の検定を行った。

III 実験結果

1. Δ DPG導出上の基礎研究

1) 特定の時定数のもとで, 周波数を増加させると, ある範囲では周波数の増加に応じて振幅(波高)の増大することが知られている。運動時の最大心拍数は通常安静時の約3倍に達するところから, 心拍数の増加は振幅増大の原因にならないかどうかについて指摘があった。そこで, 実際に使用している増幅器を用い, 時定数0.03秒で1Hzから3Hzまでの正弦波を入力させたところ, 微分波の波高値(Δ DPG)は約2倍に増大した。同様に, 矩形波を入力させたところ, 1Hzから3Hzへの周波数増加に伴う波高値の増大は全くみられなかった。

2) Δ DPG波高は心臓からの近接・遠方の部位差によりどの程度の変化が生じるものであるかに

ついて, 応用的な研究の立場から Δ DPGの同時導出を試みた。Fig. 1はその記録例であり, 手指と同側の足指の Δ DPG-P波を同時に導出したものである。これによると手指 Δ DPG-P波高は足指のそれより変動応答の絶対値が大きく観察された。

また, 本例では遠方部位の波高ほど変化への追従性すなわち, 波高の変動性がやや緩慢になる傾向を示したが, 健常者の手指と足指の Δ DPG-P波の変化patternはほぼ同じ傾向を示した。ただ, 被験者による応答性の差異は明らかに存在した。

2. 精神作業時の Δ DPG-P波高変化

Fig. 2は暗算作業を行った際の Δ DPG変化の記録例である。一般に, 乗法計算による暗算活動についてはA点のカード提示による数字(6×3×7×5×4)の認知後に開始され, B点のカード除去による暗算活動の中止で終了するという約束になっている。本例の場合は約60秒間精神作業が続いたことを後の質問でも確認してある。 Δ DPGは暗算作業の開始と共に急激に減少し, 作業時間中はほぼその減少状態の傾向が持続した。暗算作業の終了(B点)により, Δ DPGは約30秒でほぼcontrolの値まで復帰した。平行して記録した精神電流現象(GSR)は暗算作業中に顕著な変化を示し, 同じく瞬時心拍速度計による毎分心拍レベルも

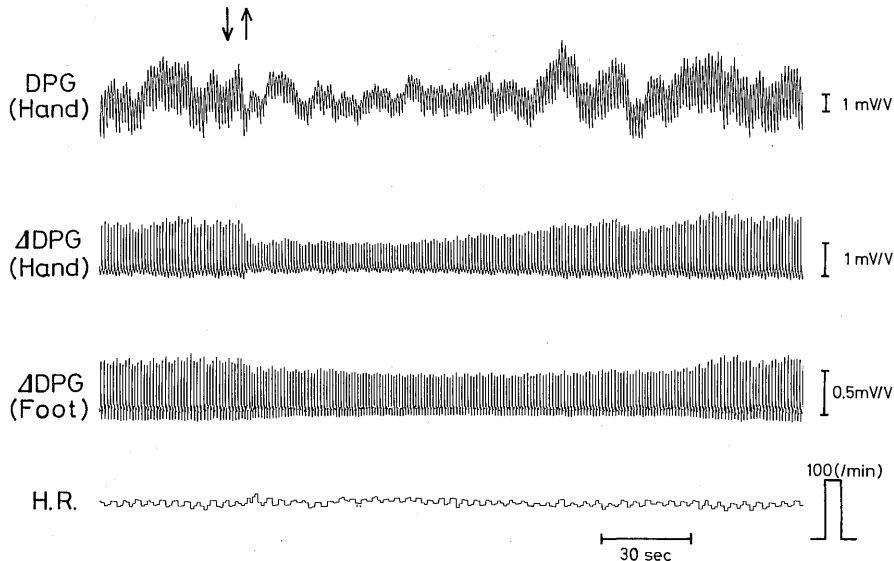


Fig. 1 Simultaneous measurements of DPG, Δ DPG (hand), Δ DPG (foot) and heart rate. Arrows show the onset and release of mental stimulation. The records indicate the characteristics of Δ DPG in hand and foot.

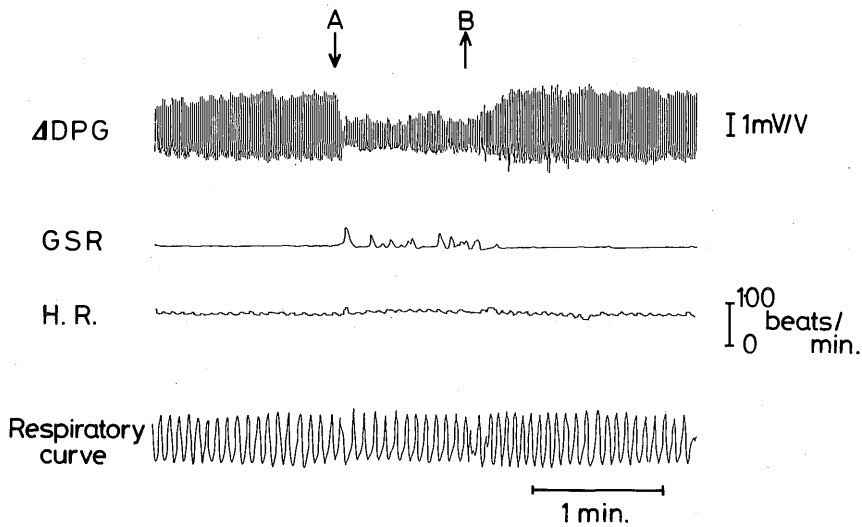


Fig. 2 Influence of mental arithmetic on Δ DPG, GSR, heart rate and respiratory rate. Δ DPG decreased markedly in parallel with the response of GSR, increase of heart rate and decrease of respiratory depth.

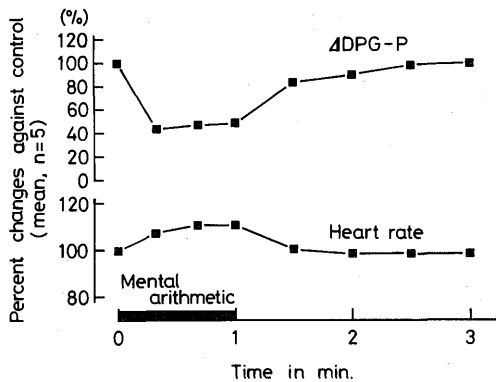


Fig. 3 Average changes of Δ DPG and heart rate evoked by mental arithmetic (n=5).

controlの70拍/分から80拍/分に増大した。呼吸曲線は暗算作業中に顕著な変化をしめさず、呼吸相の振幅にやや縮小を認めた。

暗算作業に対する Δ DPGの応答は一般に被験者の個人的な適応体制に依存することが大きいと思われるが、上記の暗算式(1ケタ掛算)による1分応答を5名についてプロットした Δ DPGは暗算作業の開始20秒ですでにcontrolの $44 \pm 13\%$ (mean \pm SD, n=5)にまで減少した(Fig. 3)。いっぽう、HRは暗算作業中に徐々に増加し、50秒の経過で

最高値は $113 \pm 9\%$ に達した。暗算作業の終了後、HRはすでに30秒で完全に復帰したが、 Δ DPG-P波高は30秒後でcontrolの $82 \pm 22\%$ 、90秒後に完全復帰をしめた。

3. 静的筋作業時の Δ DPG-P波高の変化

Fig. 4は指屈伸の静的筋作業による Δ DPG-P波高の変化を筋負荷重量、指屈伸運動の振幅と頻度、毎分心拍レベルなどと同時に記録した典型例で、紙送り速度は毎分60mmである。最大指屈筋力の発揮に相当する負荷重量を100%としたときの3段階の負荷強度をそれぞれ30%、50%、70%とし、図の左側から負荷に対応する諸変化量があげてある。 Δ DPGはいずれの運動負荷においても、負荷の開始と共に急激に減少し、負荷の解除後は徐々に復帰することがわかる。この傾向を11名の被験者で3段階の負荷ごとにそれぞれ平均値を算出して比較してみると、30%の負荷に対して50%と70%の負荷はいずれもそれぞれ有意な減少を示した($p < 0.05$)。50%と70%負荷の間では有意な差がみられなかった。HRは30%負荷よりも50%、70%負荷で増加率が大きであった。 Δ DPGの復帰時間は平均約30秒であった。負荷の開始期では Δ DPGの急速な減少を、また回復期ではやや緩徐なcontrolへの復帰傾向を得たことから、Fig. 5ではさらにこの3段階の負荷強度における Δ DPGの急速減少

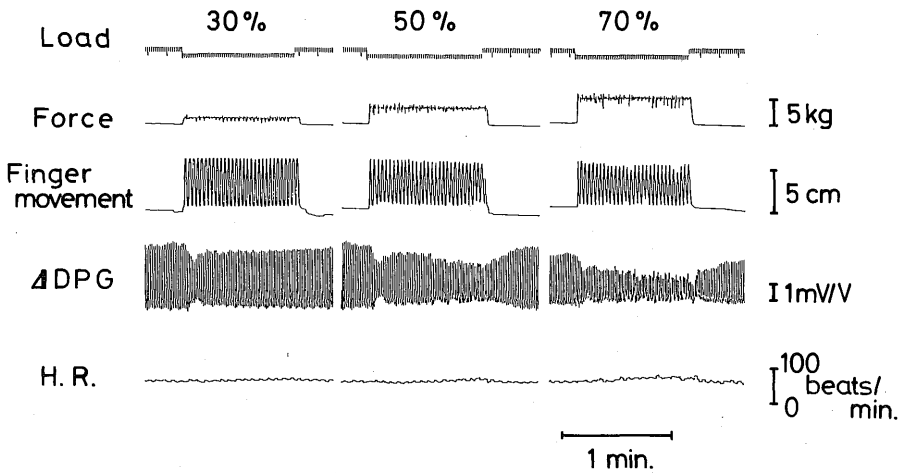


Fig. 4 Influence of static muscle effort on Δ DPG and heart rate. From the upper ; Percent of maximal finger work by Mosso ergometer, tension force, distance of finger movement, Δ DPG and heart rate level/min.

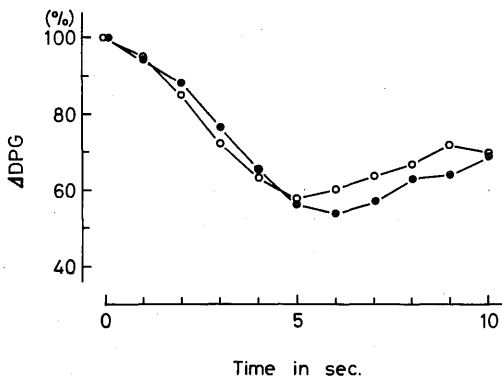


Fig. 5 Rapid decrease of Δ DPG in the initial stage of static finger work. —○—: 30%, —●—: 70%. Maximal decrease was observed at 5 sec after the onset of finger work.

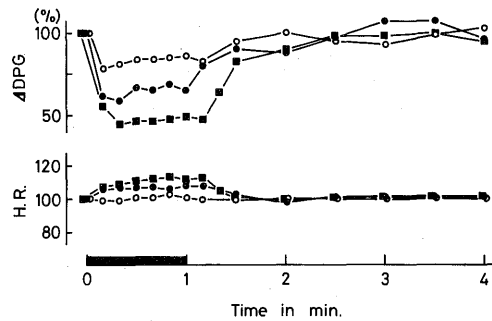


Fig. 6 Graph representing the average changes of Δ DPG in finger work and mental stimulation (n=5). —○—: 30%, —●—: 70% and —■—: mental arithmetic.

反応を秒単位で計測した。このグラフと検定から負荷強度の間では有意な差異がみられなかったが、いずれも約5秒間で最小の Δ DPG-P波高に達することが判明した。

Fig. 6は Δ DPGの精神作業による減少率と指屈筋運動によるそれを対比したものである。その結果、精神負荷時の Δ DPGは静的指屈筋運動の30%、70%強度を有意に越えて減少することがわかった ($p < 0.05$)。この傾向は今回の被験者5名のすべてに観察された。また、同時に測定したHRも精神負荷時では筋作業より上昇率が大きであった。

IV 考 察

1. Δ DPG導出上の基礎的問題について

指尖容積脈波 (DPG) の一次微分波である指尖容積微分脈波 (Δ DPG) は周波数変動 (心拍数変化) の影響を受けないものかどうかについて問いが出されていた。この問題は増幅器一般の周波数特性に関する工学的な領域に属するものであり、本論文の実験で追試した通り、ある範囲の正弦波周波数の変動に対応して微分波高は変動するが、矩形波では全く変らなかった。いっぽう、生理学的な

領域からは、本論文は心拍数の増大に対応する Δ DPGにすべて減少の結果が得られたことから、この限りにおいては今回この問題を切実に検討する必要はないように思われる。しかしながら、われわれは Δ DPGの減少ばかりでなくその増大についても関心をもっているのもう少し考察を加えたい。

一般に指尖容積脈波の波形は個体の脈管特性やその病態などにより各種の形状と波高を示すことが知られている^{13,14)}。また、同一個体や病態であっても頻脈や運動性の心拍数増加により時間要素がやや短縮することも報告され、補正式が示されている¹³⁾。このように個体や病態に固有の脈波は心電図同様に、ある体位でしかも測定部位が同一であるならば安静時の時間経過内で大きく変化することはない。それは、心筋・心拍量・末梢血管などが個人の生活を通じすでに循環適応を獲得した状態にあるからである。著者らの関心は、この循環適応のレベルからの各種の負荷による機能的なずれの記録や応答様式の観察にある。そして、いまのところ前報の運動負荷の研究でしめた通り、波形の変化よりも波高の変動に特色があり、その変動は矩形波想的と考えている。

2. Δ DPGの減少応答と関係要因について

本実験の結果によると、 Δ DPG-P波高は暗算のような精神活動時に顕著に減少し、その減少度は予想以上に大きく、筋作業のそれを上まわっている。しかも、その減少の速度は両負荷とも約5秒間で最大の減少値に達する傾向を示している。一方、負荷終了後の復帰時間には約30秒を要している。平行して記録したHRは精神作業時及び静的筋作業時の両負荷ともに確実な増加を示している。

既報⁹⁾や諸研究にみられるように^{1,2,5,15)}、 Δ DPG-P波高を減少させる諸負荷には注意集中、緊張性精神活動、吸息の初期、最大吸息性・呼息性の止息維持、head-up体位変換($<60^\circ$)⁶⁾、自転車エルゴメータ運動の初期などがあり、今回の暗算負荷と静的筋作業も同じ結果と傾向を有するものと判断する。しかも今回のHRは前報の不変か上昇という成績に比して、明らかに上昇する結果となるところから、 Δ DPG-P波高の負荷による急速減少反応と考え合わせて心臓血管組織に及ぼす交感神経性の背景にふれざるを得ない。そして、すでに指尖容積脈波のP波高成因については心臓の拍出量因子の優位性が知られているところから

^{13,14)}、 Δ DPGについてもこの知見を基礎とすべきである。そして、 Δ DPG-P波は経時的変動に特色があるところから、心拍量量の微妙な変動に影響する交感神経作用の関与はさらに鮮明に現われうるものと考えられることができる。心拍数を規制する洞結節の調律と心筋収縮力の増強・緩和(positive or negative inotropic action)に及ぼす交感神経のそれぞれの作用については同等には考えられないが、心内腔のやや縮小化や1回拍出量の減少を起こす重要な因子の1つであることには変りはない。他方、本論の基礎実験において観察したように、心臓に近い Δ DPGと遠方部位の足指のそのように圧・容量変化の平滑化と思われる応答性の差が足指 Δ DPGの変化にみられ、脈波変動要因の他の1つでもある末梢血管要因、特に血管収縮神経の関与は無視できるものではない。その記録からは末梢ほど血管抵抗・代謝要因の関与が大きいものと思われる。

以上より、精神作業や静的筋作業における指尖容積微分脈波(Δ DPG)のP波減少応答には大脳の皮質系—交感神経活動を背景とする1回拍出量の低減が大きく影響しているものと考えられる。

V 結 語

心臓・末梢循環系を背景とする指尖容積微分脈波(Differential digital plethysmogram: Δ DPGと略称)の導出に関する基礎研究を行うとともに、暗算による精神活動及びモツソ—改良型筋作業計による静的筋活動を11名の青年男子に行った際の Δ DPG-P波高の応答結果は次の通りである。

1) 時定数0.03秒の交流増幅器に正弦波を導入し、周波数を1Hzから3Hzに増加させたとき、出力の波高(mV)は約2倍に増大した。しかしながら、矩形波による同じような実験では出力波高に増大がみられなかった。

2) 手指と足指の Δ DPGを比較したとき、足指の Δ DPG-P波高は相当に低く、変化の応答性もやや緩慢のように観察された。

3) 暗算作業時の Δ DPG-P波高は負荷の開始と共に急速に減少したが、このときの心拍数は幾分増加を示した。

4) 手指筋作業時の対側指 Δ DPG-P波高は負荷強度の増大と共に有意に低下し($P<0.05$)、このときの心拍数は逆に増加を示した。

以上の結果より、このような種類の負荷にみら

れる Δ DPG-P波高低下の背景には心臓・血管系に対する交感神経系の作用があるものと考えられる。

本研究は、昭和60年度筑波大学学内プロジェクト研究費の助成によって行われた。

参 考 文 献

- 1) Burch, G. E., Cohn, A. E. and Neumann, C.: A study by quantitative methods of the spontaneous variations in volume of the finger tip, toe tip, and posterosuperior portion of the pinna of resting normal white adults. *Am. J. Physiol.*, 136: 443-47, 1942.
- 2) Burch, G. E. and Depasquale, N.: Relation of arterial pressure to spontaneous variations in digital volume. *J. Appl. Physiol.*, 15 (1): 23-24, 1960.
- 3) 加藤政孝, 鈴木智之, 荻野忠良, 小島新生(1973): 運動負荷と脈波, *現代医療*, 5: 973-979.
- 4) 北村博一: 運動負荷脈波, *脈波*, 1: 73-79, 1972.
- 5) Ludbrook, J. and Vincent, A. H.: The effects of mental arithmetic on hand blood flow. *Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci.*, 52 (4): 679-86, 1974.
- 6) 三浦明子: 自律神経機能検査に利用した指尖容積脈波法. *東女医大誌*, 51: 729-51, 1981.
- 7) 森岡豊嗣, 宮川定吉: 負荷脈波について, *脈波*, 3: 201-204.
- 8) 竹宮隆, 蔡桜蘭, 前田順一(1984): Head-down型体位変換における指尖容積脈波の微分波経時計測, *筑波大学体育科学系紀要*, 7: 221-25.
- 9) 竹宮隆, 衣笠隆, 宮下節, 前田順一, 小宮秀明(1985): 運動時の指尖容積微分脈波について, *日本生理学雑誌*, 47: 65-76.
- 10) 山岡淳, 岡本健, 山口勝弘, 久我隆一(1984): 生理心理学, 福村出版, p. 49-50.
- 11) 山崎勝男, 高沢則美, 上田雅夫(1982): 情動に関する指尖容積脈波分析の一つの試み—基線動揺成分と拍動波成分の視覚的表出—, *心理学研究*, 53: 102-106.
- 12) 山崎勝男(1985): 生理心理学, 朝倉書店, p. 88-97.
- 13) 吉村正治(1968): 脈波判読の実際, 中外医学社, 東京, p. 22-66およびp. 103-135.
- 14) 吉村正治ほか編(1974): 臨床脈波判読講座〔I〕, 金原出版, 東京, p. 86-96, p. 200-214, p. 223-235.
- 15) Neumann, C., Lhamon, W. T., and Cohn, A. E.: A study of factors (emotional) responsible for changes in the pattern of spontaneous rhythmic fluctuations in the volume of the vascular bed of the finger tip. *J. Clin. Invest.*, 23: 1-9, 1944.