筑波大学体育科学系紀要　Bull. Health & Sports Sciences, Univ. of Tsukuba 7 : 222—225, 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

竹　宮　　隆*・蔡　　桜蘭**・前　田　順　一***

Measurement of Differential Digital Plethysmogram during and after Head-down Posture

TAKEMIYA Takashi*, TSAI Yialan** and MAEDA Jun-ichi***

Differential digital plethysmogram (⊿DPG) was obtained from the differentiation of digital plethysmographic wave by AC preamplifier with the time constant of 0.03 sec and applied for the analysis of the compound cardio-microcirculatory responses in men induced by head-down tilt. As known in digital plethysmogram, the decreasing amlitude of ⊿DPG in cold and emotional stimulation were in the first place confirmed repeatedly. On the other hand, the increasing of ⊿DPG-amplitude was observed in drowsy condition of supine posture. During a 10 sec of head-down tilt at ∠10 degrees from the horizontal, rapid decrease of ⊿DPG-amplitude was observed in the subjects being characteristic of 50—60 beats/min of heart rate at rest, whereas the decreasing response was small in the subjects with the level of 40 beats/min.

It is suggested that the ⊿DPG-amplitude in head-down tilt decrease with the accelerated activity of sympathetic vasoconstrictor nerve and increase with the inhibitory activity of the tonic discharge by baroreceptor, in addition to the hemodynamic change of cardiac output and microvascular capacity.

はじめに

運動時の筋微小循環動態の研究には各種の側面が考えられるが，指尖容積派波（Digital plethysmogram，以下DPG）の分析はその１つである。しかしながら，動作・運動中のDPGは安静時の自然動揺（基線動揺）をさらに増幅する傾向にあり，分析の困難なことが多い。関[4][5]はこのような動揺を安定させる上からも運動中の派波には時定数を介する微分波が有用であり，従来の波形との対応も可能であると述べている。その後，西尾[2]，池内[1]，小澤ら[3]は微分波自体のDPG対応分析や心機能の指標として報告を行っているが，低速記線による経時的な観察を積極的に行ってはいない。

このたび，著者らはDPGの導出にpolygraphの多導出用の中継電極箱を活用したところ，脈波出力の電界が近接の端子に影響し，偶然安定した指尖の微分容積脈波（Differential plethysmogram，以下⊿DPG）をうることができた。この⊿DPGを低速記録することはこれまでの脈波のもつ情報量を半減させることになるかもしれないが，他方，このような低速記録による⊿DPGは経時的な計測の分析に顕著な威力を示し，自律神経系を背景とする微小循環システムの経時研究に有用になると考えるものである。本篇では，従来から知られている寒冷刺激や精神・情緒刺激に対するDPGの波高減少反応を微分波で再現するとともに，新たにHead-downの体位変換負荷による心臓・血管反応の動態を微分波経時計測にて観察・記録したので報告する。

＊　筑波大学体育科学系
＊＊　筑波大学大学院修士課程体育研究科
＊＊＊　筑波大学大学院体育研究科研究生

実験方法

⊿DPGの計測に先立つ原波形の記録は，日本光電㈱の校正脈波計（MLV—2201）によった。これは一種の容積脈波計（指尖）であり，心臓からの拍出量や微小血管網の容積変動が光電変換素子を経て記録される。本装置からの出力はmV/Vの単位で記録されるが，これらはすべて内臓された演算回路による被検部の組織量検出とその単位組織量当りの脈波高になっており，簡便な一般型の校正電圧が得られるようになっている。

今回の実験では，被験者の一般的な脈管特性を知るために，この校正脈波計を使用してDPGを記録し，正常領域の判定を行った。⊿DPGはこのDPGを微分回路のある交流前置増幅器に導入し，時定数0.03秒で処理して得たものである。時定数0.03秒という数値は基線動揺を考慮した予備実験の結果によるものである。本論文における微分波振幅の表示は(mV/V) T.C 0.03としたが，これは実際の微分波振幅を脈波内臓の1mV当りの標準校正電圧印加で得た時定数0.03秒の較正波高で除した値である。

他の生体示標としてはサーミスタ型の呼吸曲線及び心電図をDPG・⊿DPGと共に4 channelの熱ペンレコーダーで同時記録した。被験者はすべて健常な青年男子（6名）であり，年令は19～23才，運動歴はほぼ8年である。このうち体位変換の被験者は3名である。微分脈波と生体負荷に関する基礎実験には，冷水（6℃）中に対側上肢の手首までを浸漬する寒冷負荷及び情緒性刺激やイメージ喚起を中心とした精神負荷を実施した。一方，体位変換実験としては，水平体位（∠0°）から頭部を下にしたHead-down傾斜10度の負荷を実施した。体位変換台は手動性で傾斜角90°の可動範囲をもっている。肩あて，固定ベルト，緊急用の把持装置などは安全のために考慮されたものであるが，この種の装備は被験者の精神・情緒的な安定のためにも有用と考える。体位変換の際の指尖部ピックアップの位置は心臓レベルが基本であり，変換時においても大きく偏移しないよう考慮した。

DPG及び⊿DPG測定の際の室温はすべて22—26℃の範囲にあった。

実験成績

1．指尖容積脈波（DPG）と微分波（⊿DPG）

Fig. 1は本実験の被験者の1人の安静仰臥位における毎秒50㎜の記録例であり，上段よりDPG，⊿DPG，呼吸曲線及び心電図である。DPGの分析基準に従うならばP波高，C切痕，U波高はそれぞれ1.70mV/V，0.9mV/V，0.95mV/Vであり，U—time, E—timeはそれぞれ0.16sec及び0.34secの正常脈波であった。微分波測定の実験には必ずcontrolとして，このような標準DPGを記録した。Fig. 2は経時分析を目的とした⊿DPG（下段）と

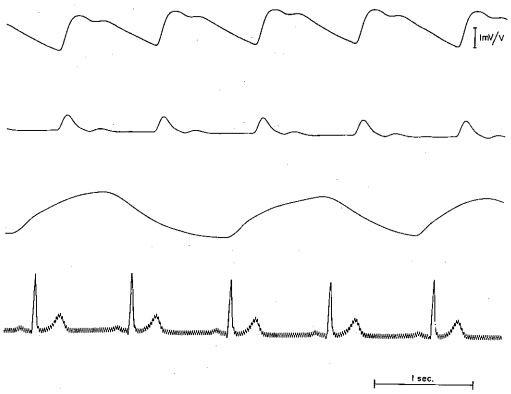


Fig. 1　Record showing digital plethysmogram (DPG) in the trained. From top to bottom; DPG,differential digital plethysmogram (⊿DPG, TC. 0.03), respiratory curve and ECG.

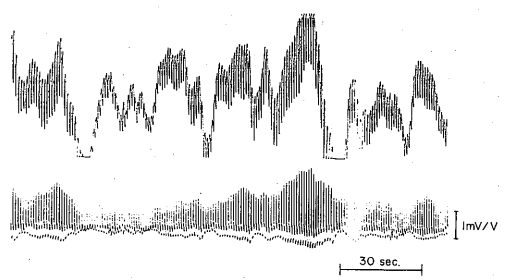


Fig. 2　Record indicating the apparent stability of ⊿DPG in lower trace, compared with DPG in upper trace.

DPG原波形（上段）の比較例である。両記録は時間的に対応しており，上段のDPGにスケールアウトが生じても，⊿DPGは忠実に現象を記録している。Fig. 3 はこのDPGのP波高と⊿DPG振幅mV/Vの関係をグラフに示したものであり，相関係数はr＝0.979であった（P＜0.001）。

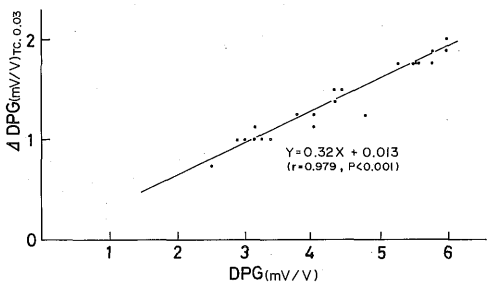


Fig. 3　Graph showing a linear relationship between ⊿DPG (mV/V) TC. 0.03 and DPG (mV/V).

2．寒冷負荷

Fig. 4 は健常な男子による手指の冷水浸漬30秒間の対側手指の⊿DPG経時変化（上段）の記録例であり，Aで浸漬，Bで脱出した。下段の記録は手指背側部に装着したサーミスタによる入水手指の皮膚温である。約2分後のCでは，冷水浸漬の予告刺激だけが与えられており，それでも顕著な⊿DPG反応が出現した。実際の計測ではcontrolの3.9mV/Vから冷水負荷の0.8mV/Vまで顕著に減少し，C点の予告だけによる反応でも1.5mV/Vに減少した。この手指の冷水負荷は対側手指ばかりでなく，足指の⊿DPGにも明瞭に記録された。

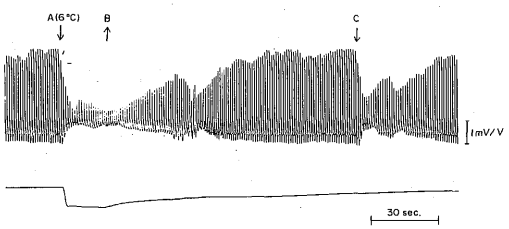


Fig. 4　Record showing a typical Pattern of decreasing ⊿DPG-amplitude in cold water immersion (6°C) of opposite hand. A : on, B : off, C : false signal of cold water immersion. Lower trace indicate the change of skin temperature in cold water and the recovery.

3．精神・情緒負荷

⊿DPGの経時分析で顕著に記録できるのは精神・情動反応である。前記の冷水負荷に伴なう手指の痛みや不快感はかなりの頻度で想起させることができ，また冷水準備の音やアナウンスだけの刺激においても顕著な⊿DPG減少反応が記録できた。さらに，イメージ・精神集中・複雑な暗算なども⊿DPGを減少させ，スポーツ鍛錬者の対戦イメージなども顕著に⊿DPGを減少させた。一方，Fig. 5 のように，約30秒間の軽睡眠とも冥想とも区別のつかない精神状態のとき⊿DPGの増大が観察された（Fig. 5 の例は足指の⊿DPGである）。

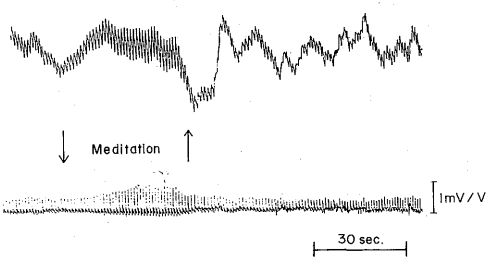


Fig. 5　Record showing foot DPG (upper) and the ⊿DPG (lower) with the increasing amplitude of plethysmogram evoked by "drowsy" condition in arrows.

4．Head-down負荷

Fig. 6 は回転台によるHead-down型の体位変換を実施したときの記録例であり，上段より⊿DPG，呼吸曲線，心電図を示す。⊿DPGのA点で手動による台の回転を開始し，水平体位から頭部を下方へ約10秒で10度傾斜して停止させた。control値1.95mV/VはA点以後経時的に減少し，10秒後からの50秒間は約0.7mV/Vという振幅の減少を示した。水平位への復帰後はいくらか増高動揺を伴なうが，多くはcontrol値に回復した。Table 1 はHead-down傾斜10度のときの⊿DPG反応を10秒という短時間の値として比較したもの

Table 1. Change of ⊿DPG P-wave during and after 10 sec of head-down posture (∠10°)

Subjects	Heart rate at rest	⊿DPG (mV/V) T. C. 0.03		
		Control	During	After
H.A.	51—54	2.09±0.73(6)	1.46±0.31(6)	1.95±0.74(6)
T.Y.	48—50	1.50±0.64(5)	1.56±0.69(5)	1.51±0.66(5)
S.T.	40—42	3.09±1.02(5)	3.05±1.15(5)	3.02±1.02(5)

(Mean±SD, n)

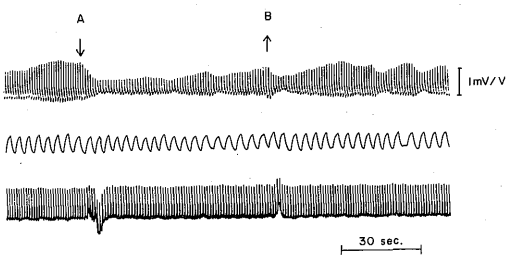


Fig. 6 Record showing the decreasing change of ⊿DPG-amplitude in head-down tilt. From top to bottom: ⊿DPG in ∠10° at A and recovery at B with the minor variation, respiratory curve and ECG.

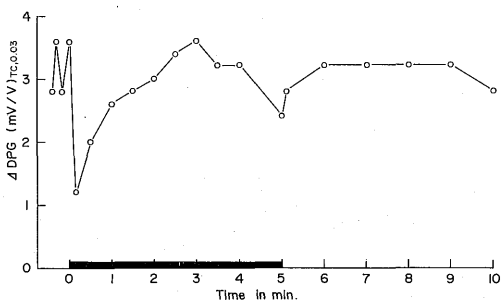


Fig. 7 Graph representing the ⊿DPG-amplitude in the trained subject, with the initial decrease and following increase in the head-down tilt at ∠10°.

である。Tableでは心拍数（HR）より判断してやや迷走神経緊張度の強いと思われる被験者が対象になっている。このような条件において，Head-down 中の振幅減少度はHRの比較的大きい被験者 H.A がHRの比較的小さい被験者S.Tより顕著であった。Fig. 7 はHead-down傾斜度－5度の1例について⊿DPG振幅変動をグラフ化したもので，このように傾斜角の浅い場合には傾斜中の経時振幅に減少後に漸増する例がみられた。

考　察

指尖容積脈波の研究は，これまで心臓・末梢血管・自律神経系の病態領域で成果をあげてきた。特に，心臓・血管系を背景とする病態脈波は病態適応の成立した成型波として数種のパターンに分類されるにいたっている。一方，健常領域の正常脈波も心臓・血管系の流体力学的要素や神経・内分泌要素を含む各種の変動要因により影響を受けることが知られている。[4][6][7]

著者らはかねてより後者の領域における機能的，可逆的な脈波の変動幅の分析に関心をもっており，寒冷・運動・体位など各種の健常負荷に対する経時変化を分析しようと考えた。ところが動的な動作・運動負荷を加える場合，静的精神・作業負荷以上に指尖容積脈波 (DPG) が顕著に動揺し，経時的な分析の対象になり得ないことが判明した。このような理由から，われわれは微分波 (⊿DPG) の研究を実施するにいたったのである。著者らの究極の目的は動作・運動中の微小循環情報の取得にあるが，⊿DPGの及ぶ範囲のことも含めて，また，生理的諸側面の分析から⊿DPGの信頼性をうるため追試研究として寒冷・精神・情緒などの実験を設定した。すでに，小澤[3]の報告にもあるが，

われわれのDPG—P波高と⊿DPG振幅の相関関係においては r＝0.979という高い値が得られたのである。同一個人に負荷を加えた場合U—timeに顕著な経時的差が現われない範囲では，脈波の立ち上り速度（⊿DPG）はP波高に比例し，従って，この微分波よりDPG—P波高を推量しうることになる。しかし，厳密には通常の脈波記録速度でDPG，⊿DPG，U—timeの関係をさらに検討する必要がある。本実験のような健常被験者においても一般に指摘されているように，安静時の⊿DPG振幅は相当に変動し，しかも心拍リズムや呼吸相には顕著に発現しない変化までこの⊿DPGに現われている。反面，分析の精度がすすむと，それだけに安定なcontrol値とはなにかを判断することが一層困難になるが，本実験の場合は明かに寒冷負荷，精神性緊張，Head-down開始直後，運動中などに⊿DPGの減少がみられ，これまでのDPG知見と一致している。[4][7]すなわち，これらの負荷には交感神経性の血管収縮神経の関与や1回心拍出量の減少が背景として考えられよう。一方，精神安定や浅睡眠，Head-down∠10°以内で1分間という経時過程においては⊿DPGの振幅増大例が得られており，これには徐脈性の1回拍出量増大やbaroreceptorからの交感神経抑制作用による相対的な血管拡張の発現も考えられる。また，本実験では意図的に自律神経緊張度に差のある者を被験者とし，それぞれの反応を比較検討したところ，Head-down∠10°以内の場合には運動性徐脈の強い傾向にある被験者ほど⊿DPGの減少が少ない傾向にあることが認められた。しかし，われわれのその後の実験データのなかには運動性徐脈を有する被験者中にもHead-down角度の増大につれて，⊿DPG振幅の減少する傾向を有する者が認められ，さらに研究が必要である。はじめにも述べた通り，⊿DPGは心臓・血管系の情報としてどの程度の意味をもつものか明確でない。Head-down負荷では角度が進むとともにbaroreceptorの機構にくわえて脳圧亢進の問題が介入し，検討は単純でない。今後は各種の実験条件の設定を通じて分析を行う必要がある。⊿DPGに対する自律神経系の関与については睡眠を含む多方面の研究が必要であり，経時変化を対象とする麻酔科領域や催眠・身心医学領域の知見とも十分に比較検討することが重要である。[7]

以上，本研究では指尖容積脈波（DPG）を体位・動作・運動などの研究に応用する場合，その微分波（⊿DPG）の経時的測定が極めて有効になるであろうことを強調した。今後は心拍速度との同時記録を通じて⊿DPGにしめる心臓/血管のそれぞれの関与度を検討していきたい。

結　語

健常領域の寒冷，精神，動作，運動などに伴なう微小循環動態をヒトレベルで研究しようとするとき，指尖容積脈波の測定はその1つである。しかしながら，この領域における脈波には自然動揺が顕著であり，本研究ではこの基線動揺の改善のために指尖容積脈波の微分波が有用であると主張した。すなわち，時定数0.03秒は基線動揺がすくなく，精神身体反応や自律神経反応などの経時測定に適することを強調した。そして，Head-down型の体位変換負荷においては，心拍出量の変動要因に加えて血管運動神経の緊張性やbaroreceptorからの反射による血管緊張の緩和性などが関与することを考察した。

著者らは，本論文の基礎実験にいろいろご意見をいただいた筑波大学体育科学系の藤田紀盛教授に感謝の意を表すると共に運動・集中と血管反応に関する情報をいただいた大阪府立大学の渡辺　謙先生，加速度脈波に関する情報をいただいた東京大学の佐野裕司先生に心からお礼を申し上げます。

参　考　文　献

1) 池内聰之・島田英世・片桐鎮夫：光電型指尖容積脈波形の1次微分を用いて運動負荷中の左室駆出時間を測定する試み　脈波　5(2)：245～250，昭50
2) 西尾　豊：指尖容積脈波の微分波形について　脈波　3(2)：127—130，昭48
3) 小澤禎治：微分容積脈波高の定量化と非観血的手法による心機能諸指標との相関　脈波　7(1)：28～33，昭52
4) 関　博人：臨床容積脈波　金原出版，東京，p97～105，昭45
5) 関　博人：時定数を変えた指尖容積脈波について　脈波　2(2)：29～35，昭47
6) 吉村正治：脈波判読の実際　中外医学社，東京，p22—66 及び p103～135，昭43
7) 吉村正治・他編：臨床脈波判読講座〔1〕金原出版，東京，p86～96，p200～214 及び p223～235，昭49