MISAWA HOMES INSTITUTE OF RESEARCH & DEVELOPMENT
TECHNICAL REPORT
vol. 22

加速度脈波

Acceleration Plethysmogram

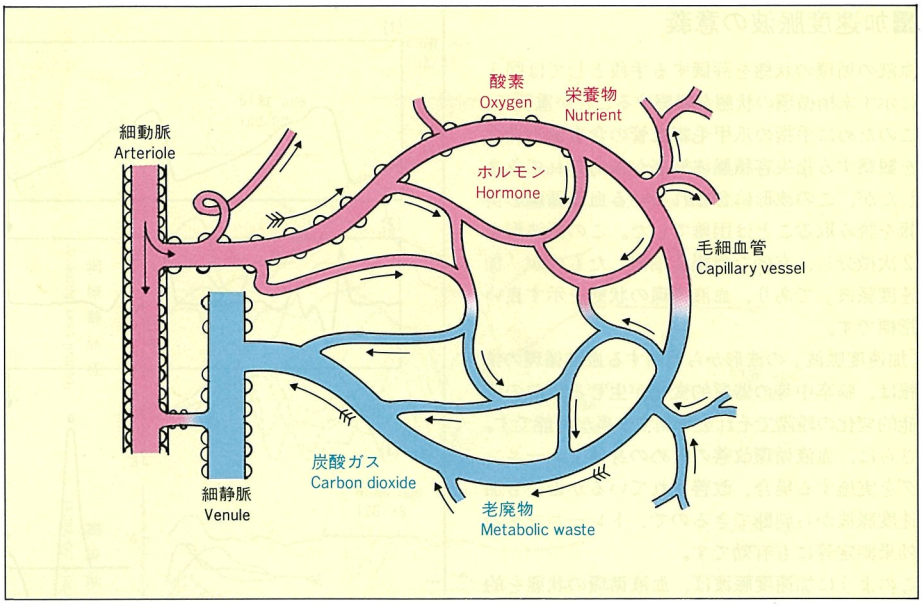

図1 微小循環の模式図*(4)

Fig. 1 Schematic diagram of microcirculation

■血液循環の重要性

最近の高齢化社会の中で、成人病を中心とする健康問題が大きく取り上げられるようになりました。ことに感染症による死亡が著しく減少した結果、癌・脳卒中・心不全といった成人病が死因の上位を占めるようになっています。

これらの疾病の発生原因は解明されていない面も多く残されていますが、「血液循環」が悪くなったことと深く関連していることが、知られています。

脳血管障害（脳梗塞等）虚血性心疾患（狭心症・心筋梗塞等）は突然発病する病気と考えられてきましたが、実際には極めて永い期間にわたって体の中で機能的変化が進み、器質的変化に移行した段階で発病する病気であることなどが解ってきております。

医学の進歩により、その原因となる動脈血管壁の粥状硬化は癌とおなじような細胞の異常増殖で、動脈壁の平滑筋細胞の増殖によってはじまることが明らかになっており、平滑筋細胞は酸素供給の不十分な状態が永く続くことにより増殖をはじめるもので、酸素の供給は血液によって行われることから、血液循環の不十分な状態を続けないことにより、これらの病気は予防できることが明らかになってきております。

血液循環が不十分になってくると、赤血球を増加させたり、血圧を押し上げて酸素供給を確保しようとすることから、血圧検査が行われております。然し、血圧を押し上げたことにより血液の供給が確保されているか否かは血圧の値から知ることはできません。

血液循環の中心となるのは心臓ですから一般には心臓だけで血液の循環が行われているように錯覚しがちです。左心室から拍出された血液は、体全体に血液を送り出していますが、体の中で最も大きな組織は筋肉であり、多量の血液は筋肉に押し込まれます。血液を受け入れるのは毛細血管であり、その総断面積は大動脈の断面積に比べ非常に大きくなっていますが、毛細血管では血圧が極めて低くなっていますので、血液を静脈を介して力の弱い右心に戻すことは容易ではありません。ところが、筋肉は弛緩して軟らかくなったところで血液を受け入れ、収縮して堅くなったところで、その血液を静脈の側に押し出して、心臓と同じようにポンプとしての働きをしています。

肺の方も筋肉と同じように呼出によって胸郭内圧が低下して、力の弱い右心室から血液を吸いあげて、肺の毛細血管は血液で満たされ、吸気による胸郭内圧の上昇と毛細血管の引き伸ばしの圧によって、その血液を左心室に向かって押し出すというポンプ作用をもっています。しかも、心臓の3～4拍動に対して1回の呼吸で対応して、うまく血液循環のバランスを維持する助けになっています。

このように筋の運動や呼吸が血液循環に大きな比重を占めています。

しかし、従来この末梢の血液循環の状態を簡単に測定し、評価できる良い指標がありませんでした。そこで、末梢血液循環の状態の指標として有望である加速度脈波に注目しました。

当レポートはその概要をまとめたものです。

■Importance of Blood Circulation

Adult diseases and other health-related problems are becoming increasingly common subjects of discourse in the aging society of today. In particular, adult diseases have become the most common causes of death as a result of a remarkable decrease in the rate of mortality from infectious diseases. Impaired "blood circulation" is known to be a factor deeply involved in the etiologies of these adult diseases. Cerebrovascular disorders and ischemic heart diseases have been found to manifest themselves when many years of functional changes in the body proceed to the stage of organic changes.

Advances in medical science have demonstrated that a causative factor for these diseases, i.e., pulpy sclerosis of arterial walls begins with the growth of arterial smooth muscle cells, which will begin to multiply under hypoxic conditions due to an insufficient supply of oxygen.

This suggests that these diseases may be prevented by keeping people from falling in the state of insufficient blood circulation. With aggravating blood circulation, the body will try to maintain oxygen supply by increasing the erythrocyte content of blood or by raising blood pressure.

For this reason, blood pressure are often employed as an indicator of circulatory insufficiency. Elevated levels of blood pressure, however, do not necessarily imply a sufficient supply of oxygen.

Blood is ejected from the left ventricle and delivered to every part of the body:especially, into muscles, which are the largest tissue in the body. In the muscle, blood enters the capillary vessels. Since the combined cross-sectional area of all the capillaries is 800 times greater than that of the aorta, blood pressure becomes very low in the capillaries. So, it is not an easy task to return capillary blood back to the less powerful right ventricle via veins. On the other hand, the muscles draw in blood when they relax and soften, and push it out into the veins when they contract and harden. Thus, the muscles function as a kind of blood pump, similar to the heart.

Like the muscles, the lungs also act as pump. Blood is drawn in from the less powerful right ventricle and fills the pulmonary capillaries as the expiratory movement reduces the intrathoracic pressure ;and then the blood is pushed out toward the left ventricle as inspired air increases intrathoracic pressure and stretches the capillaries. Furthermore, respiratory movements are well coordinated with the heartbeats and will help maintain the balance of blood circulation.

As mentioned above, the muscular and respiratory movements play a significant role in the blood circulation.

■加速度脈波の意義

血液の循環の状態を評価する手段としては図１に示す末梢循環の状態を観察することが重要で、このために手指の爪甲毛細血管の含有量の変化を観察する手指容積脈波検査が検討されてきましたが、この波形に含まれている血液循環の情報を読み取ることは困難でした。この原波形を２次微分し、有効な情報を抽出したものが「加速度脈波」であり、血液循環の状態を示す良い指標です。

「加速度脈波」の波形から判断する血液循環の情報は、脳卒中等の器質的変化が生じる以前の機能的変化の段階でそれを予測する事が可能です。さらに、血液循環改善のための身体トレーニングを実施する場合、改善されているか否かも加速度脈波から判断できるので、トレーニングの効果測定等にも有効です。

このように加速度脈波は、血液循環の状態を的確にとらえ、その波形から健康状態をわかりやすく提示することができ、成人病の予知・予防の有力な手段となります。

■加速度脈波の原理

加速度脈波の測定による血液循環機能の判定は図２に示す如く次のように行います。

(1)指先に近赤外線を当て、末梢血管の血液含有量の時間的推移を示す指尖容積脈波を検出します。

(2)上記(1)の脈波を時間で２次微分し、原波形に較べ波形が非常に分かりやすい加速度脈波に変換します。

(3)加速度脈波にはａ、ｂ、ｃ、ｄの変曲点があり、ａの高さに対するｂ、ｃ、ｄの高さを求めます。これをインデックスといいます。

(4)上記(3)の波形をインデックスを用いてＡ～Ｇの７パターンに分類し、血液循環機能の状態を判定します。

■波形による血液循環の評価

上記(4)で判定された波形パターンによる血液循環の状態は次の通りです。

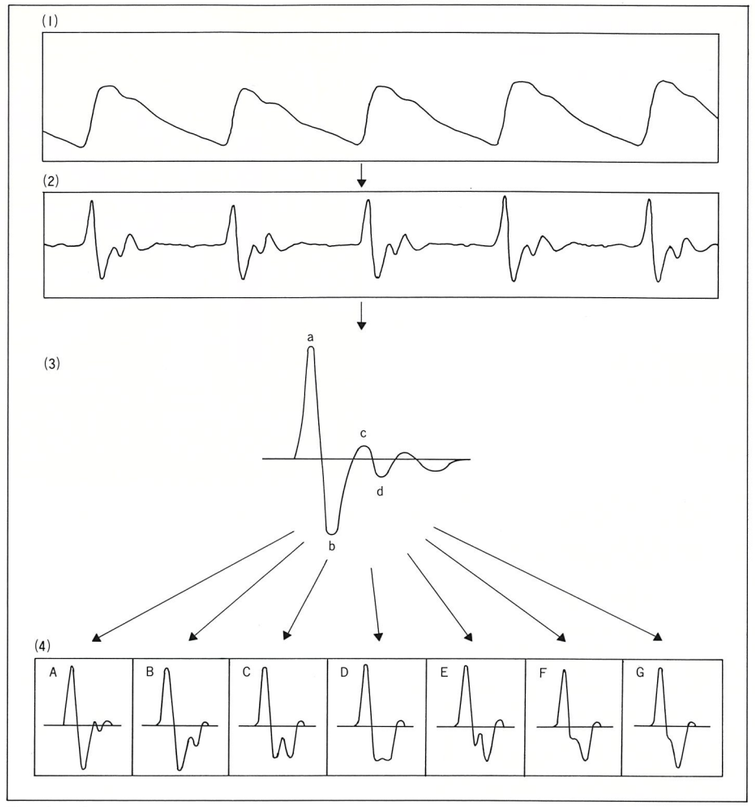

図２ 加速度脈波の原理

Fig. 2 Principle of acceleration pulse waveform analysis

Ａ：通常元気な若い人に見られる波形で血液循環の良い状態。

Ｂ：血液循環が不十分になっていく経過の中で見られるが、まだ良い状態。
但し、20歳代でこのような波形を示す場合は、若干注意が必要。

Ｃ：血液循環が不十分になってきた状態を示し、特に30歳代までの者で、この波形を示す場合は要注意。

Ｄ、Ｅ、Ｆ、Ｇ：血液循環のかなり悪い状態を示しており、脳血管疾患、虚血性心疾患、乳腺腫瘍、子宮筋腫、卵巣腫瘍などの既往症や現症のある人には多く見られる。スポーツで事故につながるのもこの波形を示す人が多い。

■Significance of Acceleration Pulse Waveform

Monitoring the status of peripheral circulation, as Fig. 1, provides an important means of evaluating the status of blood circulation. For this reason, investigations were made into fingertip pulse plethysmography which monitors variations in the amount of blood in the hyponychial capillaries. When these original waveforms are quadratically differentiated, we can extract, from them, effective information components known as "acceleration pulse waveform", which is a good index of the status of circulation.

By analyzing acceleration pulse waveforms, we may predict the onset of cerebral apoplexy, etc. at the stage of the functional changes before the organic changes.

Further, the waveform is effective in evaluating the effect of physical exercise on the status of blood circulation.

Thus, the acceleration pulse waveform provides valuable means of predicting and preventing adult diseases, as it is an accurate index of the status of blood circulation and the condition of health.

■ Principle of Acceleration Waveform Measurement

The functional status of blood circulation may be determined from the acceleration pulse waveform by using the following procedure (as Fig. 2):

(1) Apply near-infrared radiation to the fingertip, and record the fingertip pulse plethysmogram.

(2) Quadratically differentiate the recorded pulse waveform with respected to time.

(3) The acceleration waveform has four points of inflection: a, b, c and d. Determine the heights b, c and d against the height a. (Indexes).

(4) Using Indexes, classify the acceleration waveform into one of the seven patterns (A-G). Determine the functional status of blood circulation.

■Evaluation of the Blood Circulation Status

The waveform patterns correspond to the following circulatory statuses:

A: Usually seen in healthy young people and suggests the state of blood circulation is good.

B: Appears when the state of blood circulation is good but aggravating. Some caution should be exercised when this pattern is seen in 20's.

C: Suggest the state of blood circulation is insufficient. Caution should be exercised when this pattern is seen in 30's.

D,E,F and G: Suggest the state of blood circulation is rather bad. These patterns may also be seen in those who suffered or are suffering from adult diseases. These patterns also appear in high risk people who might develop adult diseases in the future. These waveforms are often seen in those get hurt during sporting activities.

■加速度脈波のインデックスの意味

加速度脈波の波形から抽出したインデックスは、末梢血液循環の状態を示す重要な指標となります。

このインデックスはaの高さに対するb，c，dのそれぞれの高さの比率で表現します。元気な若い人では、b点が一番深く下降し、c点が基線を越えて上昇し、d点がほとんど基線から下降せず、血液循環の良さを示します。高齢者はb点が浅く、c点が下降し、d点が一番深く下降し、血液循環の悪さを示します。また、静脈の収縮が適度で静脈還流が良好な場合、c点は基線の近傍か基線を超えて上昇しますが、静脈の収縮が悪くなり、血液が過度に静脈にプールされ静脈還流が悪くなってくると、c点が下降します。

静脈の収縮程度が加速度脈波にいかに反映されるかを以下に示します。

図３は眼底網膜の上耳側動静脈の径の一心拍周期中の時間的推移を25倍の写真の実測値で示したものであり実線で示したのは加速度脈波波形がＤやＥの人点線で示したのはＡやＢの波形を示す人です。動静脈ともにＡやＢの波形を示す人より、ＤやＥの波形の人の方が径が大きいが、特に静脈径の推移には著しい差が認められます。また、図４に示すように身体トレーニングによって、加速度脈波波形がＥからＢに改善されたことに伴って静脈径が細くなり、図の点線で示される時間的推移に近づきます。このことから静脈の血液含有量が多く、圧が高いために静脈径が大きくなっており、毛細血管を介して動脈の血液がうまく静脈に移行しないために動脈の圧力も高くなり動脈径も大きくなっているものと解釈されます。さらに身体トレーニングによって加速度脈波波形がＥからＢに変化するなど、静脈還流の改善によって静脈の血液含有量が減少して、圧が低下するために径が細くなったと解釈されます。

このように、加速度脈波波形で示される血液循環動態は静脈の血液含有量に依存する面が強く、このような変化が眼底出血などにも結びつく可能性が強いと考えられます。そのパラメーターとして加速度脈波の波形が有効な指標となります。

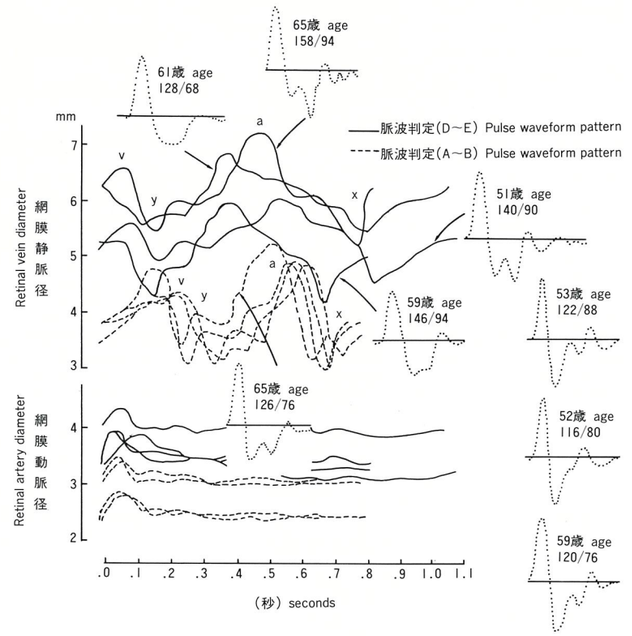

図３ 一心拍周期中の網膜の静脈径と動脈径の経時変化（Ｘ25）*(1)

Fig. 3 Time-related changes in the diameters of retinal vein and artery within the period of one heartbeat (x25)

図４ 一心拍周期中の網膜の静脈径と動脈径の経時変化（Ｘ25）*(1)

Fig. 4 Time-related changes in the diameters of retinal vein and artery within the period of one heartbeat (x25)

■Significance of Acceleration Pulse Waveform Indexes

Indexes which are extracted from acceleration pulse waveform are important indicators of the status of peripheral circulation. Indexes show the ratio of the height of point b, c,d to that of point a. In healthy young people, point b is placed at the lowest position, point c becomes higher over the baseline and point d hardly falls down the baseline. It means that the state of blood circulation is good. On the other hand, in old people, point b fall becomes small, point c becomes lower than point b, and point d is significantly low. It means that the state of blood circulation is bad. When the contractility of the veins is adequate, point c rises close to or over the baseline level. However, the position of point c falls when the contractility of the veins is weakened and the excessive amount of blood stays in the veins.

Fig. 3 shows time-related changes in the diameters of the superior temporal artery and vein of retina, and solid lines represent data taken from those who exhibited the acceleration pulse waveform pattern D or E, while dotted lines mean pattern A or B. As shown, the diameters of both the artery and vein are larger in those with pattern D or E than in those with pattern A or B. Further, changes in the diameter of the vein differ greatly between these two groups.

Fig. 4 shows that as physical exercise upgrades the acceleration waveform pattern from E to B and the vein narrows. These findings may be interpreted as follows: the larger vein diameters are caused by higher pressures secondary to increased blood content of the veins.

Similarly, the larger artery diameters indicate impaired flow of arterial blood into the vein. However, the vein narrows when physical exercise improves venous return, as exemplified by the movement of the acceleration pattern from E to B, since improved venous return causes a decrease in the blood content of the veins and in venous pressures.

The above discussion suggests that the blood circulation dynamics, known by the acceleration pulse waveform, depends on the amount of blood in the veins and that unfavorable changes may possibly proceed to cerebral hemmorrhage in the eye. As a parameter for such changes, the acceleration pulse waveform serve as an effective index to these diseases.

■波形分布の特性

＊加齢に伴う波形分布の変化（図５）
年齢の低い20歳代ではA、B波形の比率が高くC波形がわずかに認められる程度でしたが、加齢に伴ってA、B波形の比率が低くなり、D、E、F、G波形の比率が高くなることが認められます。このことは、加齢による血液循環動態の変化が、加速度脈波波形に反映されて、この波形の変化が血液循環動態の評価につながるものと考えられます。

＊血圧と加速度脈波波形の比較（図６）
正常血圧・境界域高血圧・高血圧に関係なく、A、B波形を示す者、C波形を示す者、D～G波形を示す者が認められます。高血圧になるに従い、D～G波形の比率が高まるものの、正常血圧でD～G波形であったり、高血圧であるにもかかわらずB波形を示す者が少なくないなど、血液循環の悪さを血圧を上げることで補えている場合と、そうでない場合があることを示しており、血圧では得られない血液循環情報を加速度脈波から得られることがわかります。

＊成人病の病歴を有する人の波形分布（図７）
成人病の病歴を有する人はD～G波形を示す割合が、同年代の一般人に比べ、高いことが認められます。従って、これらの疾患の発生が血液循環の変化と関連があると考えられ、加速度脈波に注意することが、これら成人病の予防につながるものと考えられます。

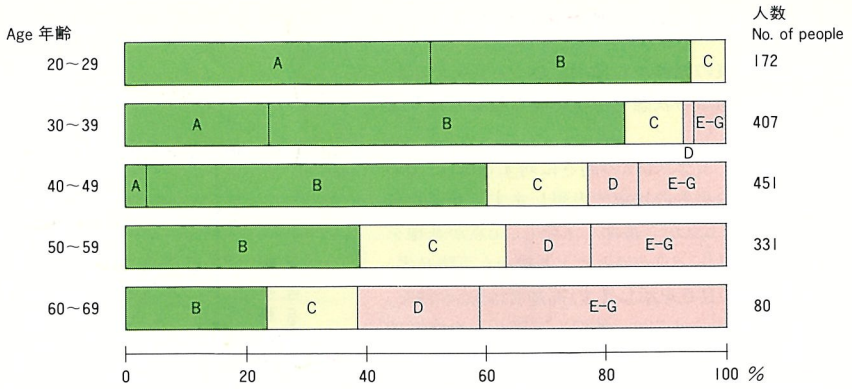

図５ 加齢に伴う波形分布の変化*(3)
Fig. 5 Changes in waveform pattern distribution with age

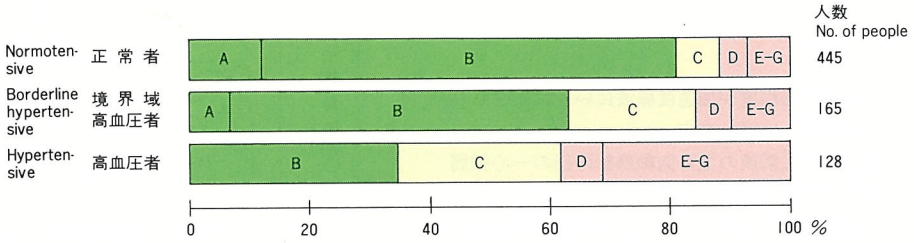

図６ W.H.O基準の血圧階級別波形分布*(2)
Fig. 6 Waveform distribution by WHO blood pressure classification

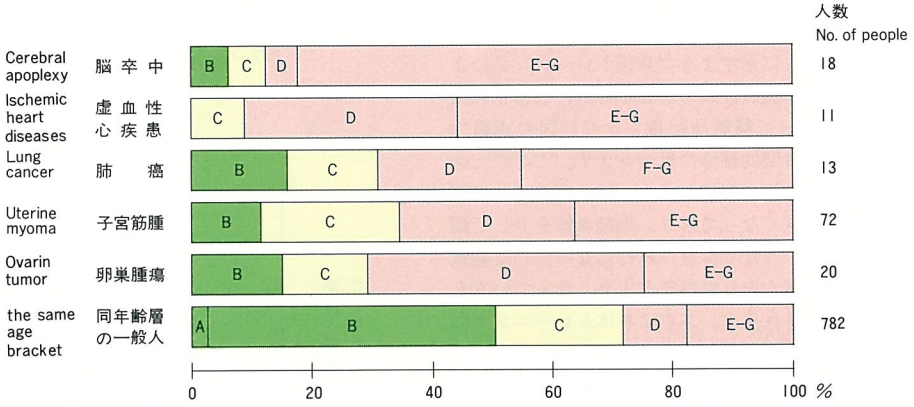

図７ 成人病の病歴を有する人の波形分布*(3)
Fig. 7 Waveform distribution in people with adult diseases

■参考文献

(1)健康づくりの基礎
—予防医学の立場から—：
小山内　博(労働科学研究所出版部、1987)

(2)加速度脈波による血液循環の評価と応用：
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（労働科学61巻３号、1985）

(3)多摩スポーツ会館における健康づくりの理論と実際：（(財)東京都教育振興財団多摩スポーツ会館10周年記念誌、1987）

(4)微小循環：東　健彦、土屋　雅春、三島好雄（中山書店、1979）

■謝辞

当レポート作成に当たり貴重なアドバイスをいただきました医学博士小山内博先生に深く感謝致します。

ミサワホーム総合研究所
知識情報開発部
〒168東京都杉並区高井戸東2-4-5
TEL 03（332）5111

■Properties in waveform distribution

＊Changes in waveform distribution with age (Fig. 5)
It has been found that a larger number of old people begin to show patterns D, E, F and G as their ages increase. This means that changes in the dynamics of blood circulation with age are reflected in the acceleration pulse waveform.

＊Comparison of blood pressure levels with the acceleration pulse waveform patterns (Fig. 6)
It has been found that people show waveform patterns A, B, C and D-G, no matter whether their blood pressures are normal, borderline or hypertensive. Patterns D-G are frequently seen in hypertensive people, but there are many other cases in which normotensive people have patterns D-G. Consequently, unfavorable state of blood circulation does not always lead to a rise in blood pressure.

＊Waveform distribution in people with histories of adult diseases (Fig. 7)
People with histories of adult diseases have higher incidence of patterns D-G than the general population in the same age bracket. Thus, there may be some relationship between the development of these diseases and changes in the status of blood circulation.

■References (in Japanese)

(1) Fundamentals of health buildup-From the standpoint of preventive medicine: H. Osanai (Labor Science Research Institute Publishing Dept., 1987)

(2) Evaluation of blood circulation by acceleration pulse waveform and its application: Y.Sano, Y.Kataoka, T.Ikuyama, M.Wada, H.Imano, K.Kawamura, T. Watanabe, A.Nishida and H.Osanai (J. Labor Science Vol.61, No.3, 1985)

(3) Theory and practice of health buildup in Tama Sports Center (Lecture in Celebration of the 10th Anniversary of Tokyo Educational Promotion Foundation Tama Sports Center, 1987)

(4) Microcirculation: Y.Azuma, M.Tsuchiya and Y.Mishima (Nakayama Shoten, 1979)

■Acknowledgment

We are greatly indebted to Dr. Hiroshi Osanai for his valuable advice in preparing this report.

KNOWLEDGE INFORMATION DEPT.
MISAWA HOMES INSTITUTE OF RESEARCH & DEVELOPMENT
2-4-5, Takaido-Higashi, Suginami-ku,
Tokyo 168
Phone: 03 (332) 5111