

Chain Saw の機械的振動について (第3報)

取扱者におよぼす生理的影響

桜井 敏夫^{※1}・田中 千秋^{※1}・高橋 徹^{※1}

Toshio SAKURAI, Chiaki TANAKA, and Akira TAKAHASHI

On the Mechanical vibration of Chain Saw (III)
Physiological Responses upon the Handler

緒 論

手持振動工具類の稼働による直接的振動が使用者に与えるであろう各種生理的障害については、生理学的見地から種々論議され、また調査もおこなわれている。しかし、Chain Saw の振動レベルと直接結びつけて、取扱者への影響性を検討した研究報告は少ない。その多くは実際の作業時間との関係を報告したものであり、一般の機械的振動と障害・公害との関係も我々の生活にもっとも近い輸送機関における乗心地の見地から、あるいは居住性に及ぼす杵打作業等から種々調査研究されている。したがって対称とする振動領域は比較的弱小範囲に限られているように思われる。

例えば1964年以来国際標準化機構内の機械振動・衝撃専門委員会で取上げられた振動の国際的基準案⁽²⁾ (現在審議中で最終的な推せん案ではない。) による振動周波数、加速度と疲労-能力減退曲線を第1図に示し参考とする。

なおこの図上に筆者らが実測した Chain Saw の振動範囲 (前handle) をplotすると上端斜線で示す位置に来る。これが今日一般に使用されつゝあるChain Saw の実態であって、太い実線はいわゆる疲労-能力減退曲線(8h. から1min. まで7本) であるから、斜線領域は最上部に示される1min. の曲線よりもさらに上に位置することになる (図中の細い実線は利用上筆者が加筆した)。したがって、このような基準が将来上げにされてもChain Saw の取扱いについては特別に考える必要があると思われる。

よって私は生理的な血圧・脈拍は精神的影響の下でも大きく変化するが、また外界の刺激に対しても無意識に敏感に反応することを利用して、その刺激時間・刺激強

度等とこれらの生理的变化との関係を人間工学的な立場から検討することにした。勿論生理的測定は総てその指示する bases に基づいておこない、被検者は本学の教職員・林学科学生等である。また島根県木材研究所中村正樹氏、平佐隆文氏らおよび岐阜県林業試験所伊藤邦昭氏らの協力を得た。深く感謝する。

なお、本実験で生理的变化の指標として収縮期血圧 (max. Blood-pressure) 弛緩期血圧 (min. Blood-pressure) および心臓拍動数、すなわち Pulse rate を選んだことは上述した以外次の理由による。

- これらの測定計器類は一般に取扱いが簡便軽量であって現場的に利用できる。
- 最近の電子応用計器類であるから測定値に測定者の個人差が入りにくい。
- 被検者への計器取付が短時間にでき能率的計測が

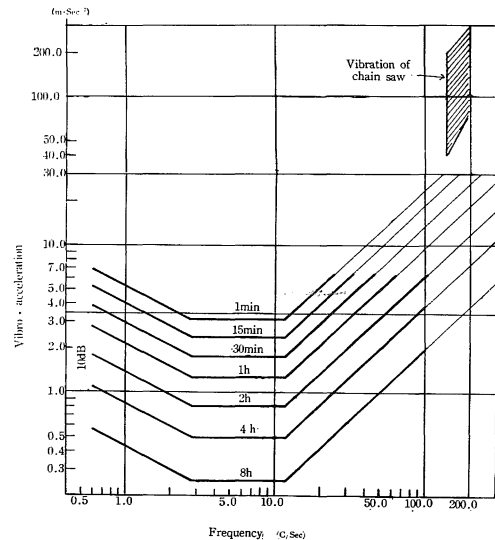


Fig 1 The decreasing curves of fatigue-working faculty according to vibro. acceleration.

※1 木材加工学研究室
Laboratory of Wood Science and Engineering.



Total area:
43.6 cm²

Fig. 2 The Left hand mark of the palm in gripping.

可能である。

また、生理学の立場⁽⁴⁾からはこれらの指標については次のように説明されている。

循環の調節は心臓の作業と血管運動、すなわち血管の収縮拡張の2方向からおこなわれる。そして両方面とも主として神経性に、そして一部においては化学性協働としておこなわれる。そして一定の状態にある循環は時々の変動ないし要求に応じて種々に変化するが、それは正に総合的協働の線に沿う適切な調節に相当する。心臓活動は神経支配をうけ、反射的協働として調節され、交感および副交感神経系により拮抗的な影響を受ける。そして拍動数はその際のもっとも見易い数値として著しく変化する。心臓の拍動毎に押出される血液は動脈壁の弾性的拡張と短縮のために恒常に近い圧力をもって流通させ

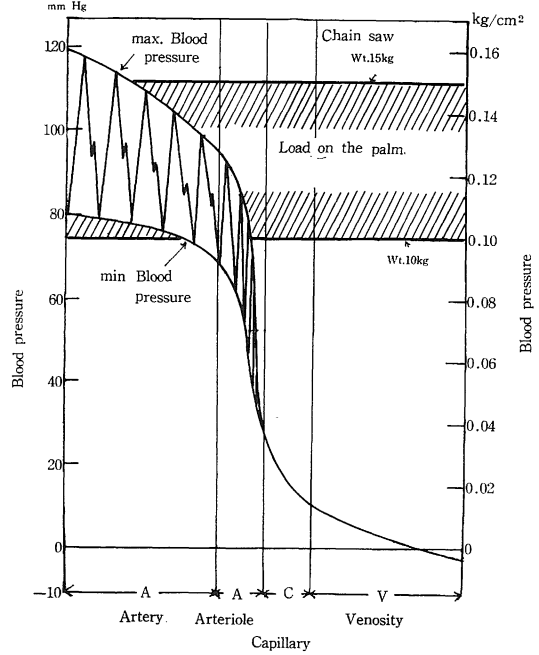


Fig. 3 Between the pressure in blood vessel system and the load on the palm in chain saw gripping.

られるが、その速度は動脈域から毛細血管域になるにしたがい、その横断面積の総和の増大によって速度圧力は次第に減少する。この場合のその部の血管内圧を血圧といひ、心臓収縮期の内圧を一名 max. Blood pressure. 弛緩期に対応するものを min. B. p. と云う。この両者の差が脈拍を来たすのであるから脈圧と名づける。

動脈血圧は循環生理学上重要な値であって、最大血圧は主として心臓拍動量、末梢血管の抵抗、動脈壁の弾性などによって支配され、筋運動時等のような刺激に対しては拍動量が増大し max. B. p. は著しく上昇する。

またこれに対し min. B. p. は末梢血管抵抗 および動脈壁の弾性に依存する度合が大であるので、運動時等において拍動数は増加するが末梢血管の拡張に打消され min. B. p. はあまり上昇しないことがある。

なお人体末端部の小さな動脈、ことに毛細管になる直前の小動脈は筋層の発達著しく平滑筋に固有な緊張および収縮の機能を発現す

Table 1 Influences of the weight of chain saw on the circulary function

McCulloch E. S. (10k)			Homelite 500D (15kg)			Hurricane (20kg)		
Blood — pressure (max)	(min)	Pulse rate	Blood — pressure (max)	(min)	Pulse rate	Blood — pressure (max)	(min)	Pulse rate
0.07	0.37	0.15	0.01	0.07	0.23	-0.08	-0.27	0.04
-0.06	-0.07	0.09	0.01	-0.22	0.26	-0.01	0.	0.05
0.03	-0.13	0.10	-0.01	0.10	0.15	-0.08	-0.12	0.
0.06	0.13	-0.08	-0.09	-0.08	0.27	0.38	0.	0.05
-0.06	-0.14	0.02	0.01	0.20	0.26	-0.02	-0.13	0.10
0.01	-0.18	-0.04	0.05	-0.11	0.13	0.12	-0.02	0.07
-0.06	-0.05	-0.09	0.12	-0.06	0.04	0.04	-0.04	0.20
0.	-0.03	-0.12	-0.04	-0.06	0.08	0.	-0.12	0.04
-0.05	-0.03	-0.07	0.04	0.07	-0.07	-0.04	0.03	0.06
-0.02	-0.12	-0.15	—	—	—	-0.08	-0.06	0.10
mean : -0.01	-0.03	-0.02	0.06	-0.01	0.15	0.02	-0.07	0.07

る。また毛細管壁は物質透過性著しく、単に水分のみならず種々の溶質、場所によっては高分子物質まで透過せしめる。ここはこれを通しあらゆる細胞に血液とか所要の物質交換を営む場所であるから非常に繊細な細胞組織 (Vascular Shunt) を示す。

また静脈自体の壁は動脈のそれに比し筋層、弾性繊維共に少なく著しく伸展性にとみ、条件に従っては血液の停滞が容易に起る……………。

以上の考え方を参考にしつつ本実験をおこなった。

測定方法

振動

振動計測部は何れも前 handle. 振動方向は前後(X), 左右(Y), 上下(Z)の3方向を同時に計測記録。なお振動レベルの比較には3軸の加速度 Vector ($\sqrt{X^2+Y^2+Z^2}$) を求めた。加速度変換器は $\pm 20g$ 、3ヶ。他に Dynamic strain amplifier (meter), Rapi-codor (電磁オシロ) 等を用いた。なお測定方法等は総て前報告と(I, II)同様であるので省略。用いた機械は

Home lite 500D (約15kg)。

Mcculloch 4-3, 3-10E, Electric start (約10kg)。

Hurricane (電動式) (約20kg)。

血圧

水銀柱式 Riva-Rocci と Sphygmanometer によった。前者はコトコフ音を耳で、後者は小ランプの点滅で max. B. p., min. B. p. の帯域が検知できる。測定は総て振動刺激前と後(約60~70secの後)。測定体位は横臥上向き。

脈はく

光電脈波計の一種 Pulse meter を用いた。これは指先に一定圧下で照射された小ランプからの反射光量を硫化カドミウム光電体に受けて電気 Energy に変換し、毎分の脈はく数が表示される。

測定時は前者と同じで、計測員2名により左手血圧、右手脈はくを同時計測、交互2回の平均値をとった。

被検者

下表の通りである。

試験	No.1)	20名	平均年齢	28年
	No.2) a)	5名	〃	31年
	b)	59名	〃	27年
	No.3)	10名	〃	30年

実験結果と考察

1) Chain Saw の重量刺激による影響

鋸断姿勢で約10, 15, 20kgの3種の機械を150sec間

保持した場合、その保持前・後に夫々計測した測定値から重量刺激に対する生理的負担指数を求め第1表に示す。指数値0は前・後の値に変化が生じなかったもの、0以上は増大、0以下は後にかえて降下したものである。なお指数値は次式による。

$$\text{生理的負担指数値} = \frac{\text{後の値}(B) - \text{前の値}(A)}{\text{刺激前の計測値}(A)}$$

なお指数は個人差をなくすと云われている。

平均値で比較すれば max. B. p. 指数と min. B. p. との差すなわち脈圧指数は10kgのとき0.02, 15kg 0.07, 20kg/kg 0.09となり、Pulse rate も増大の傾向を示した。

このように重量物保持のみによっても生理的反応を示す原因を人間工学的立場から考察すれば次のように説明できるのではないだろうか。

すなわち保持した場合その部の把握皮膚面が受けるであろう平均的荷重はこの handle との接触皮膚総面積がわかればほぼ予想できる。第2図はその一例であって、この総面積は44cm²である。いま左右両手接触面積を計100cm²と仮定すれば、10kgの重量物に対しては0.1kg/cm², 15kgのものに対しては0.15kg/cm²の圧を受けることになる。また、血圧150mmHgはほぼ0.21kg/cm²であるが把握皮膚面下の状態すなわち脈圧は動脈域から毛細管域にいくに従い非常に低くなるから到底この圧力に耐えられないことになる。この両者の関係を第3図(a)に示した。(水銀柱100mmHg=0.14kg/cm²)。

この図中斜線で示される領域が上述の掌裏皮膚面が受けるであろう圧力 kg/cm²。曲線は一般生理学⁽⁴⁾で示す脈圧の低下曲線。したがって掌裏を含めての指端部の脈圧は0.02~0.04 kg/cm²程度にすぎない筈である。もしそうならば当然受けた重量荷重はまず第一に血流に影響を及ぼすことになり、その結果が生理的刺戟となり変化が発生したと思考する。

なお、第1表について各個人の指数値の変化をみると非常に個人差があり、あるものは上昇しあるものは下降する等相当の差が認められる。

2) 振動刺激による影響

a 時間との関係

保持時間を25, 50, 150secに夫々変えた場合の生理的变化を第4図に示す。(機械は Mcculloch E. S. 10kg) 本結果によれば50secまでの変化は平均的に何れも大きい。

b 時間一定の場合

保持時間を150secとし、機械の速度別の振動レベルと生理的变化を調べた。第5図は保持中の Engine の rpm と前 handle 3方向の振動加速度 Vector。第6図

はこの Vector と max Blood-pressure の負担指数。なお min. B. p., pulse rate との関係は省略するが3者何れも Vector との関係の相関性は認められにくい

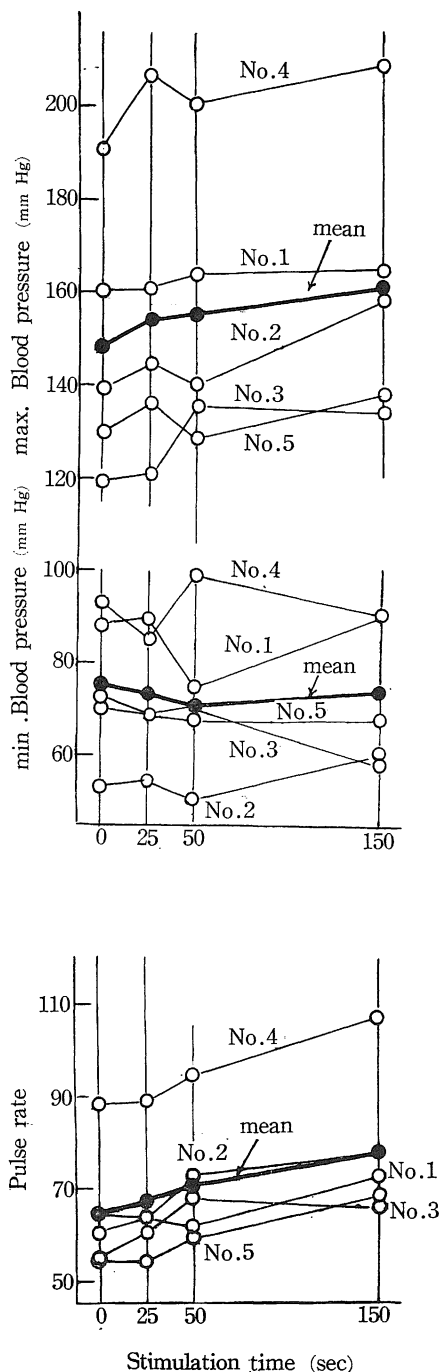


Fig. 4 Influence of stimulating time on circulatory function.
(No: each of the human subjects)

で、標本数すなわち約10名の Vector と負担指数の各平均値を求めて第7図に示す。本結果によれば振動レベルが高く変るも必ずしも負担指数は上昇せず、むしろ max. B. p. においては減少の傾向をさへ示す。

これは第1図に示されるように振動数・振巾の変化と疲労一能力曲線との間には比例的關係がない事実と一致するように考えられる。

次に負担指数のみの分布状態を第8図に示す。本図によれば一般に max. B. p. と Pulse rate とは増大し0より大となる。しかし第1表と同様0以下を示す特異な者が存在する。

元來生体は外界の刺激に対して、生理的に敏感に反応し、その対応処置をとる筈である。したがってこの対応処置を示さないもの、ならびに negative な反応を示す者は要注意者であると考えられないであろうか。

統計的に要注意者を求めると次のようになる。

150sec. 間強い振動刺激を受けた場合

- a …… 収縮期血圧が下降するもの 10~30%
- b …… 弛緩期血圧が変化しないもの 10~15%
- c …… 心臓搏動数が変化しないもの 10~13%
- d …… 心臓搏動数が減少するもの 3~19%
- e …… 収縮期血圧下降、搏動数何れも減少するもの 3~5% (以上何れも信頼度は95%)

Chain Saw の稼働による異常にまで強い振動刺激は直接的に局所すなわち把握手裏部に繰返し振動応力を与えることになる。その応力は Chain Saw の重さの10~20倍 (質量×加速度=重さ)であり、毎秒100~200回近く

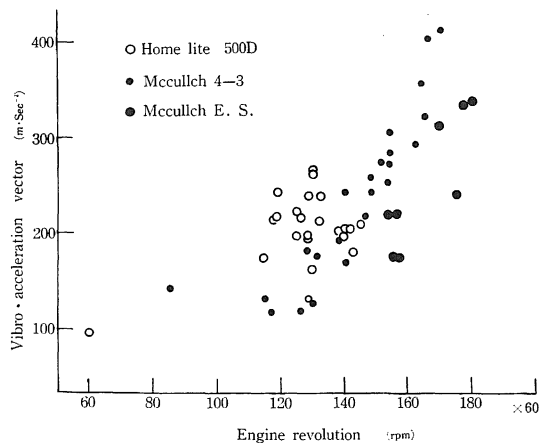


Fig. 5 Vibrate intensity of the left handle in revolving.

※ $g \approx 9.80m \cdot sec^{-2}$ であり日本計量法では1重量キログラムは質量1キログラムの物体に $9.80m \cdot sec^{-2}$ の加速度を与える力と規定され、力の絶対単位と重力単位との関係は $1kg = 1kg$ (質量) $\times g \approx 9.80$ $N = 0.980$ Mdyn

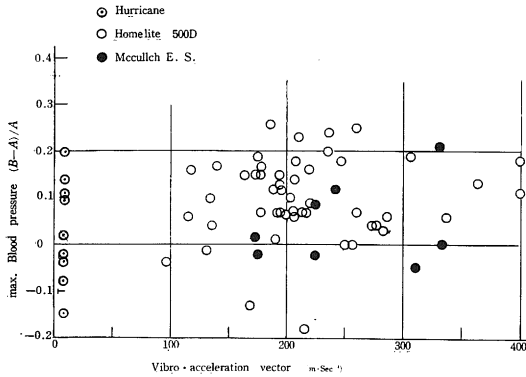


Fig. 6 Influence of the vibrato stimulation on the max. blood pressure of the handler.

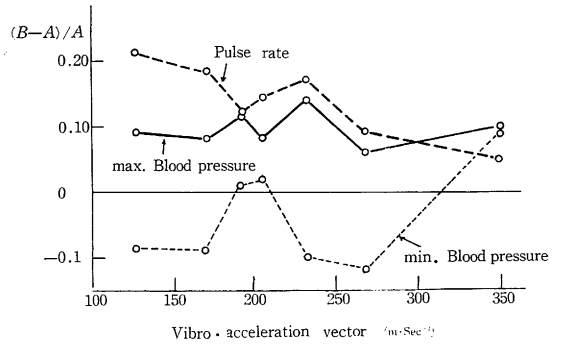


Fig. 7 Influence of the vibrato stimulation on the circulatory function of the handler.

(A: Value of measurement before the holding.)
(B: Value of measurement after the holding.)

手裏を打つことになる。(Chain Sawの重量を質量と仮定。振動加速度を10~20gとする。)なお指端部の組織的寿命をNをとすれば、材料学的⁽⁴⁾にはその部に応力振巾を1回受けると1/Nだけ寿命が失われると云う Myner の法則を適用すれば $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$ の応力振巾が順次に n_1, n_2, \dots, n_m 回加えられ、それが単独に加えられた時の破壊までの繰返し数を N_1, N_2, \dots, N_m とすれば

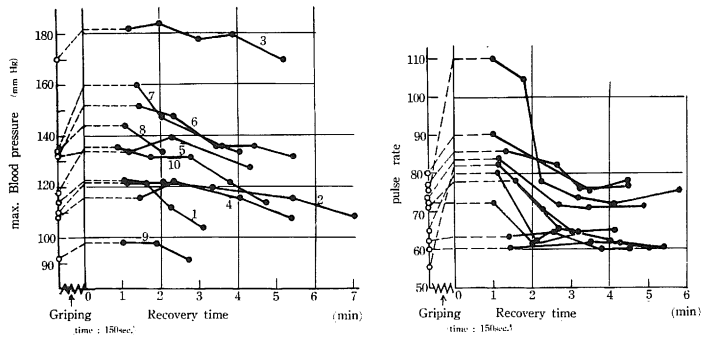


Fig. 9 Recovery time of circulatory function off the vibrato stimulation.

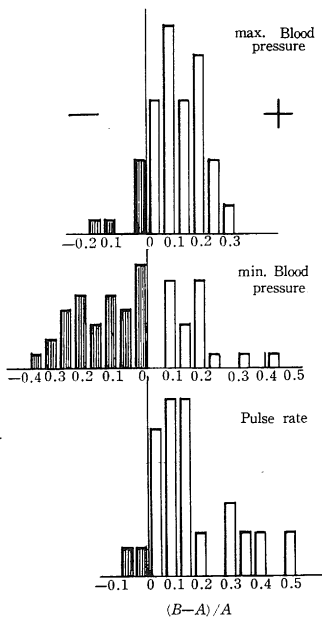


Fig. 8 The variations of blood pressure and pulse rate by vibrato stimulation. (Holding time: 150 sec.)

$$\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} = \sum_{i=1}^m \beta_i = \beta$$

で示され $\beta = 1$ のとき破壊が起る筈であり、 β は累積繰返し数比であって材料の損傷度に等しい。以上から Chain Saw を常用するものは、例え組織の再生機態を考えに入れても、もっとも皮膚表面に近く動脈域から静脈域に移行する柔軟な細胞組織 (Vascular Shunt) を破壊にまで導く可能性が考えられる。しかも生理的に刺戟に対し対応しかねるものもあることは増々その取扱者の選定が重要であり、また作業による刺戟時間の調節に深長な考慮が必要となると考えざるを得ない。

3) 生理的負担度の回復に要する時間

振動刺戟 150sec 間に变化した負担指数が亭前の状態に戻るに要する時間は個人によって異なるが、一般に max. B. p. も Pulse rate も 3~5 分後に回復する。その変化を第9図に示す。なお刺戟排除後計測開始まで 60sec 程度を必要とするので、その間の傾向(細い破線で示す)は不明である。

結 語

手持工具の一種 Chain Saw を用い、その重量・振動が取扱者の生理にどのような影響を及ぼすであろうかと云う問題点を人間工学的見地から検討しようと試みた実験の一つであって得られた結論は、

1) Chain Saw の重量自体のみによっても生理的負担を受ける。したがって軽量なもの程作業への負担は軽減する。すなわち第2表が示すように 150sec 間保持によって、脈圧指数差（収縮期と弛緩期各血圧指数の差）は 10kg の Chain Saw の場合 0.02, 15kg のとき 0.07, 20kg の場合 0.09 となった。

2) 稼働時の振動刺戟によっては刺戟初期に大きく変わり、時間と共にその増加率は緩慢となる。その傾向を第4図に示す。

3) 刺戟時間を一定（150sec）とした場合、その強さ（加速度 Vector）が増大しても負担指数は必ずしも上昇せずかえって減少の傾向さえ示した。この関係を第6図に示す。また振動刺戟全般にいたっては収縮期血圧指数は脈拍数の指数と共に増大し、収縮期のそれは減少の傾向を示すものが多いが、全然それと反対の傾向を示

す者がおった。その関係を第8図に示す。

統計的に算定すれば95%の信頼度で、収縮期血圧が下降するもの10~30%、心臓拍動数すなわち脈拍数が減少値を示すもの3~19%、なおその何れもが下降するものは3~5%。以上から3~5%のものを Chain Saw の取扱不適者と推定したい。

4) 刺戟によって変化した生理的負担が刺戟排除後事前の状態に復帰するに要する時間はほぼ3~5 min. である。

〔附〕以上の要旨については1968年10月日本林学関西支部大会で発表し、特に3)の3~5%の取扱要注意者がおるであろうことを報告した。このことについては本年に至り当地方の2営林所での現地実情調査結果から、いわゆる障害者と認定できるもの2.5%、さらに正確な調査によつてはこれ以上の%になるだろうと報告された。

文 献

1. 長島長節：人体血管の神経性調整 1964 東大東京
2. 岡田 晃：機械の研究19 (1)：117-123
3. 鈴木正夫：人体の機能 1968 岩波、東京 p.123
4. 山川新二：機械の研究19 (2)：113-116

Summary

This paper is concerned with the relations between the vibration level of chain saw and the physiological response on the handler.

Accelerometer, dynamic strain amplifier and electro magnetic oscillograph were used for the measurements of the vibratile action of three directions. The blood pressure and the pulse rate of human subjects (one hundred or so) were measured by means of Riva-Rocci mercury meter, sphygmomanometer and photo electric pulse meter, according to the physiological bases.

The experiments yielded the following results :

1) On account of the weight of chain saw, our physiological charges increased by hanging it for a few minutes and in table 1 are collected the results of measurements.

2) The human subjects observed by the vibration tests (during 150 seconds) are classified into three groups from the values of their stimulative charge. (Fig. 8)

Group A : Max. blood pressure and pulse rate shown the normal increasing values to the vibrate stimulation. (70~90%)

Group B : Either blood pressure or pulse rate shown the decreasing values. (10~30%)

Group C : These values shown the decreasing tendency both blood pressure and pulse rate. (3~5%)

Therefore I consider that the group C will be unsuitable men to the handling of vibrate hand machine as chain saw.