

振動・騒音及び静的重量負荷に対する作業者の 生理的応答（心電図・筋電図）について

藤井 禧雄・瀧本 義彦

Physiological responses (ECG, EMG) of experimental
subjects to vibration, noise and static loading

Yoshio FUJII and Yoshihiko TAKIMOTO

要 旨

チェーンソーの振動・騒音による神経的負荷及び鉄アレイ把持による静的重量負荷を与えた場合の作業者の生理的応答（心電図、表面筋電図）をFMテレメータ方式にて計測した。そして、各因子間の回帰式及び自己一、相互相関関数やスペクトルを計算し、上述の負荷と生理的応答との関係を定量的に検討した。その結果、心拍数、筋電図積分値と静的重量負荷とはほぼ直線的関係があること、また、心拍数は振動、騒音の変動に良く応答するものであることが明らかになり、これ等を静的筋負担や神経的負担の指標として利用できることを示した。

I. はじめに

現今の林業作業においては、ポータブル機械による作業及びその把持運搬は一般的なことであり、また機械の振動や騒音にさらされる機会も多いが、これ等の作業は従来までの動的筋作業とは自ずから異なった負担を作業者に与えるものである。つまり、比較的重量のある物をじっと持ち続ける、いわゆる静的筋作業は動的筋作業に劣らず大きい負担を作業者に与えるものである。振動、騒音も精神的（神経的）負担を引き起すものである。そこで、今回、作業中の作業者の受ける静的筋負担及び神経的負担を定量的に明らかにし、またそれを応用する2、3の実験を行なったので、それ等の結果について、ここに報告する。報告の内容は二つに分かれているが、それぞれ、①静的重量負荷と作業者の心拍数及び筋電図との関係、②チェーンソー振動、騒音と心拍数との相関関係である。

II. 実験の方法

実験はいずれも、芦生演習林の山中にて夏8月に実施した。被検者は20才台の学生3名（A、B、C）であり、各実験中の彼等の生理的応答（心電図、表面筋電図）をFMテレメータ方式の送信機で発信し、これを遠隔受信し、データレコーダに収録した。一方、負荷であるが、①の静的重量は、2kgfから10kgfの鉄アレイを各被検者が、肘を直角に曲げた状態の右手に把持するという方法で与えた。また、②のチェーンソーの振動、騒音は、玉切用角材の上に置かれたチェーンソーを被検者が両手で把持し、玉切の姿勢でスロットルを操作し、アイドリングレベルとハ

ーフスロットルレベルの振動，騒音を実験手順に従って，自ら交互に15秒間ずつ繰り返して設定するようにした。チェーンソーを直接手で支えず角材の上に置いたのは，被検者の腕に掛る肉体的負担をできるだけ少なくし，神経的負担による応答のみを取りだそうとしたためである。なお，チェーンソーは50ccのシングル及び61ccのツインチェーンソーを用いた。振動は前後，左右方向で，騒音は右耳の所にマイクロホン置いて，また表面筋電図は右手前腕の2箇所（手の開閉を司る橈側手根伸筋，橈側手根屈筋）にて測定，収録した。

Ⅲ. 解析の方法

上述のようにして，振動（2ch），騒音（1ch）及び心電図（1ch），筋電図（2ch）の計7chのデータを同時に収録したが，これ等すべてを先ず，大型計算センターのFACOM U200でAD変換した後，主システムFACOM M382に掛け，それぞれの目的に応じて解析した。即ち，振動，騒音，心拍数は時間軸を同一にして各2秒毎の値を算出し，後述の相関関数の計算に備え，また筋電図は各作業ごとの積分値をそれぞれ求めた。

Ⅳ. 結果と考察

1. 静的重量負荷と作業者の心拍数及び筋電図との関係

鉄アレイの重量を2kgfずつ増加していった時の心拍数HR（回/分）及び筋電図積分値EMG

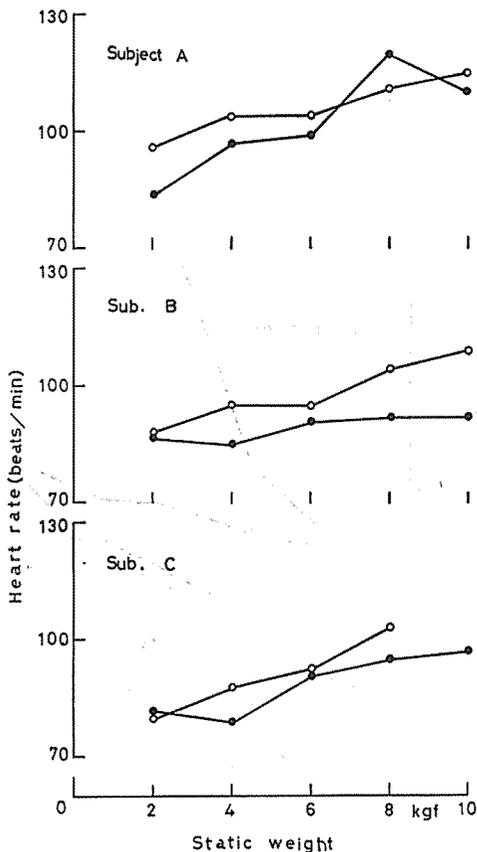


Fig. 1 Relation between heart rate and static weight for subject A, B and C (symbol ○: holding a dumbbell horizontally, symbol ●: holding a dumbbell vertically)

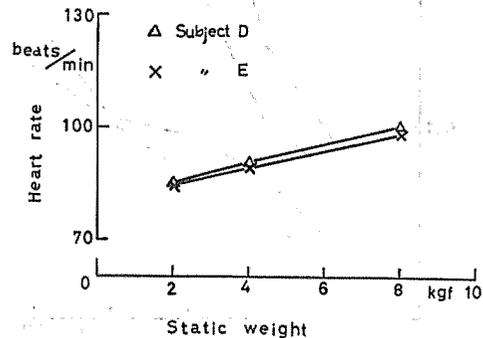


Fig. 2 Relation between heart rate and static weight for both subject D and E (in the case of holding a dumbbell horizontally and vertically)

(mV)を被検者毎に示したのが以下の図である。鉄アレイは垂直方向に持つ場合と水平方向に持つ場合毎に示してあるが、水平方向に持つ場合のほうが明らかに負担が大きく、アレイ重量10 kgfの時被検者B、Cでは規定時間の30~50秒を持ち切れずにギブアップしてしまい、ためにCではデータを得ることができなかった。

さて、心拍数についてであるが、図-1を眺めて分かるように、把持重量の増加と共に心拍数はほぼ直線的に増加する傾向を示している。さらに、図-2に異なった被検者D、Eによる同様の実験の結果を比較のために例示しておく（この場合は両手にアレイを持ち、水平、垂直持ちを一度に行なっている）。

被検者D、Eに就いて、垂直持ちと水平持ちを合わせたデータに対して回帰直線を求めてみると、

被検者 A : $y=3.02x+85.0$

被検者 B : $y=1.73x+83.3$

被検者 C : $y=3.17x+72.9$

被検者 D : $y=2.43x+79.6$

被検者 E : $y=2.14x+80.0$

但、y:心拍数, x:静的重量, となり、

5名の被検者における心拍増加率がほぼ等しい傾向を示し、また、2kgf~10kgfの重量変化に対して心拍増加数は3者(A、B、C)を平均して言えば、水平持ちの場合で16.3心拍、垂直

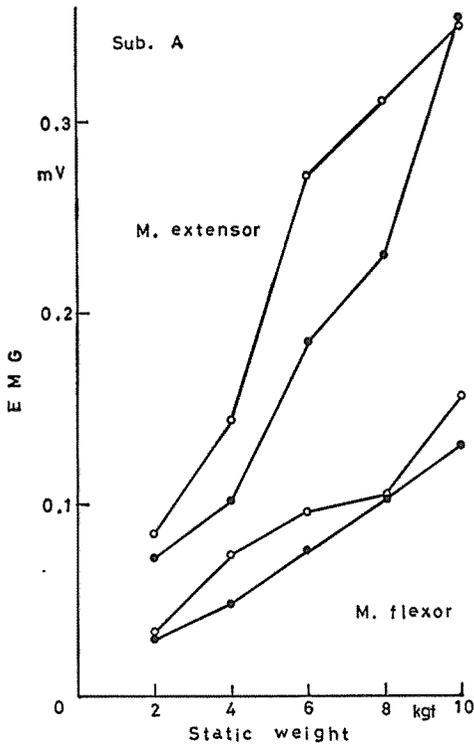


Fig. 3 Relation between integrated EMG value of a forearm and static weight (subject A) (As for the symbols ○, ●, see the remarks of Fig. 1)

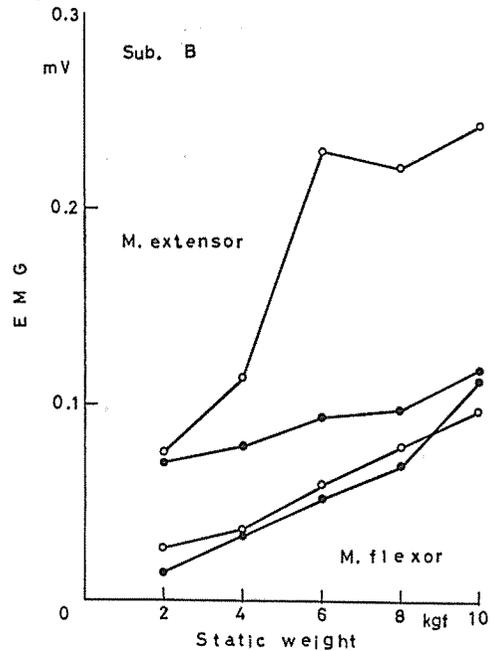


Fig. 4 do. (subject B)

持ちの場合で15.8心拍の絶対差を生じ、心拍数はエネルギー代謝率RMRとは異なり、静的筋作業の負担を定量的に良く示し得るものであることが分かる。この点に関しては、文献1)をも参照されたい。

つぎに、筋電図積分値であるが、図一3～図一5に示すように、やはり重量の増加につれてほぼ直線的に大きくなる傾向を示しているが、前腕の表側にある伸筋(M. extensor)の方が裏側にある屈筋(M. flexor)よりも常に活動度が高いことを示している。これ等の関係を利用すると、例えば、つぎの様なことが明らかになる。本実験と時を同じくして、手鎌を用いたスギの枝打作業時(素人の学生が試験的に行な

ったものではあるが)の筋電図をも計測したのだが、手鎌の持ち方はアレイ垂直持ちに当たるので上述の関係を利用すると、枝打作業時に腕に加わる力は、Aの伸筋で4.4kgf、屈筋で14.7kgf、Bでそれぞれ7.8kgf、9.6kgf、Cで4.7kgf、14.8kgfであると推算することが出来る。

2. チェーンソー振動、騒音と心拍数との相関関係

Ⅱ. で述べた様に、チェーンソーを操作し約15秒間ずつ、アイドリングとハーフスロットルを繰り返した際の振動、騒音、心拍数データを用いてそれぞれの自己及び相互相関関数そしてパワースペクトルを求めた。実験は被検者とチェーンソーの組合せを変えて6回行なったのだが、雑音の混入等のトラブルがあり、計算できたのは4組であった。

この内の3組には明らかな相関が認められたが、それ等のコレログラム及びパワースペクトルを以下に示した。尚、パワースペクトルの単位は、それぞれ騒音 dB^2/Hz 、振動 $\times 10^{-1} \text{G}^2/\text{Hz}$ 、心拍数 HR^2/Hz である。図一6は、被検者A、ツインチェーンソーの場合であるが、いずれの因子間においても大変高い相関があり、スロットルの操作間隔に丁度一致する30秒の周期(1/30 Hz)が認められる。図一7は、被検者C、シングルチェーンソーの場合であるが、これもかなり高い相関があり、やはり30秒の周期が認められる。図一8は、被検者A、シングルチェーンソーの場合である。この場合は、パワースペクトルをみると、心拍数では30秒の周期以外の所にも大きい山があり、何か外乱因子がある様で、先の2例の様な高い相関は認められないが、クロスコレログラム等をみると一応の相関は認められる。

さて、いずれのクロスコレログラムをみても、振動と騒音の相互相関が最も著しいこと、また、ラグタイム=0秒の所で最大の正の相関係数を持つことが読み取れる。つまり、時間的遅れなしに応答していることを示している。これに対し、心拍数と振動ないし騒音との相関は、もう少し低いし、また、ラグタイム=0秒の所に最大の正の相関係数が対応していない。つまり、機械的因子同士とは異なり、生理的応答は少々ずれることを示している。と言うより、これ等の場合、高いレベルを保っていた振動、騒音が15秒後に低いレベルに落ちた時に心拍数はむしろ高くなり、つぎに再び振動、騒音が高くなる時心拍数は低下するという、生理的応答の特性を示唆しているものと言えようか。これ等の議論に関しては文献2)をも参照されたい。

ともあれ、この様に、応答に時間的ずれはあるが、神経的負担を生起させる振動、騒音に対して心拍数は、外乱因子が少なければ、良く応答するものであり、今後増加するであろう神経的負担の評価指標として役立つものであることが分かる。

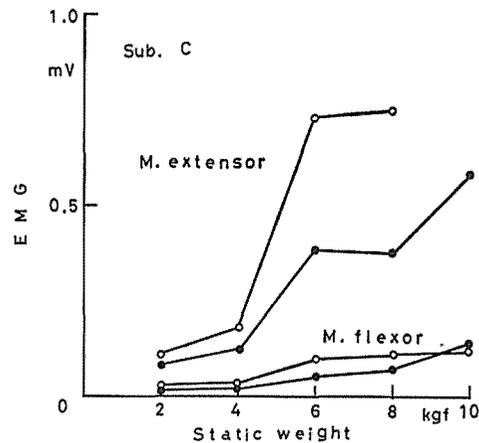


Fig. 5 do. (subject C)

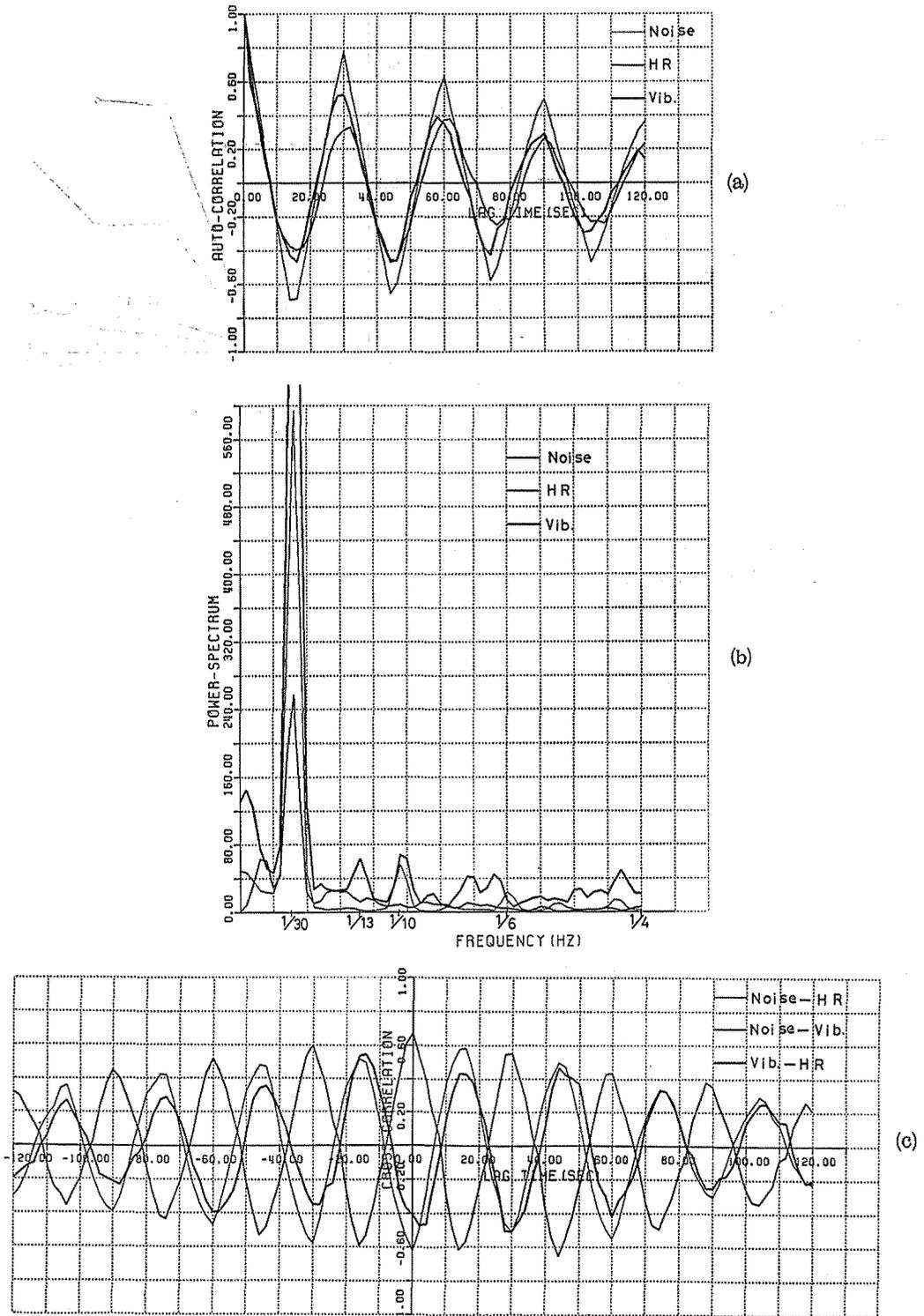
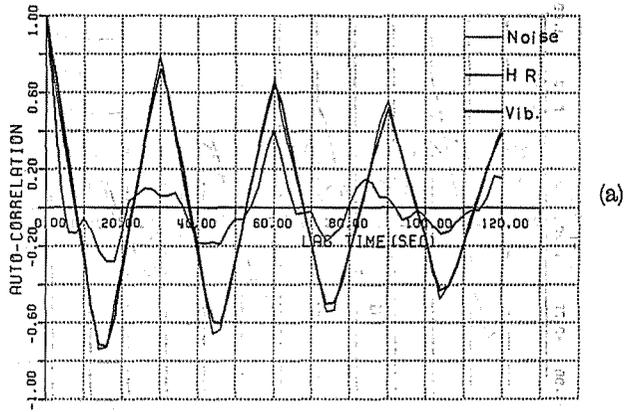
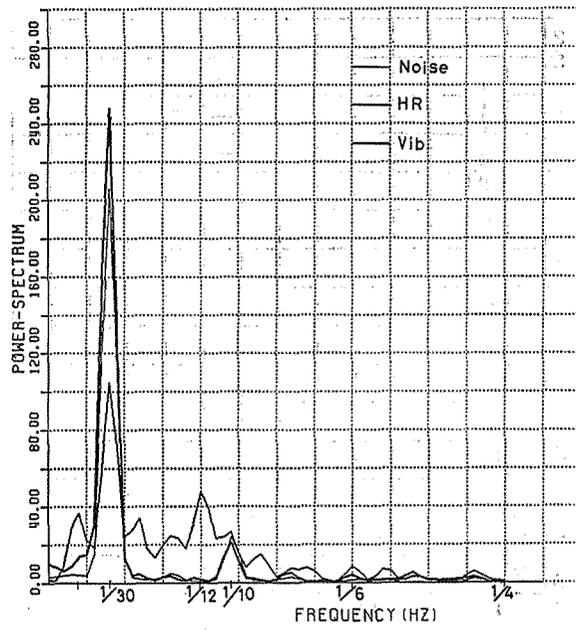


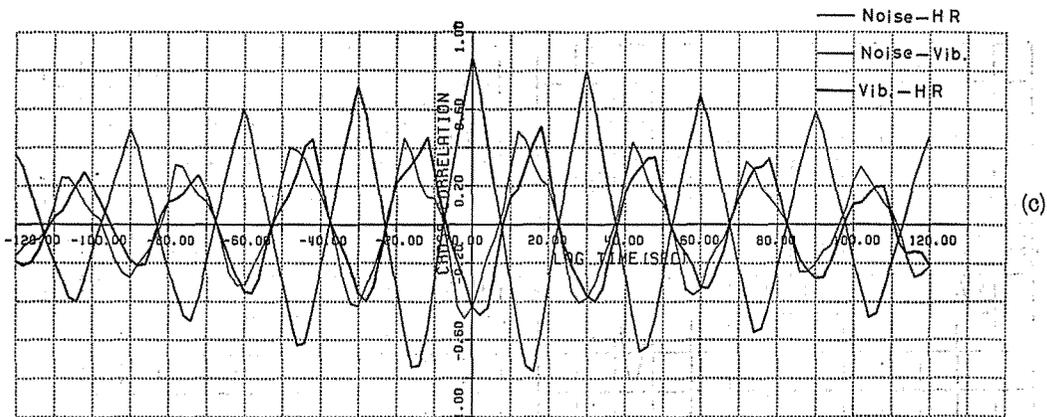
Fig. 6 Auto-correlograms (a), power spectra (b) and crosscorrelograms (c) of vibration and noise of a twin cylinder chain saw and heart rate of subject A



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 do. (a single cylinder chain saw and subject C)

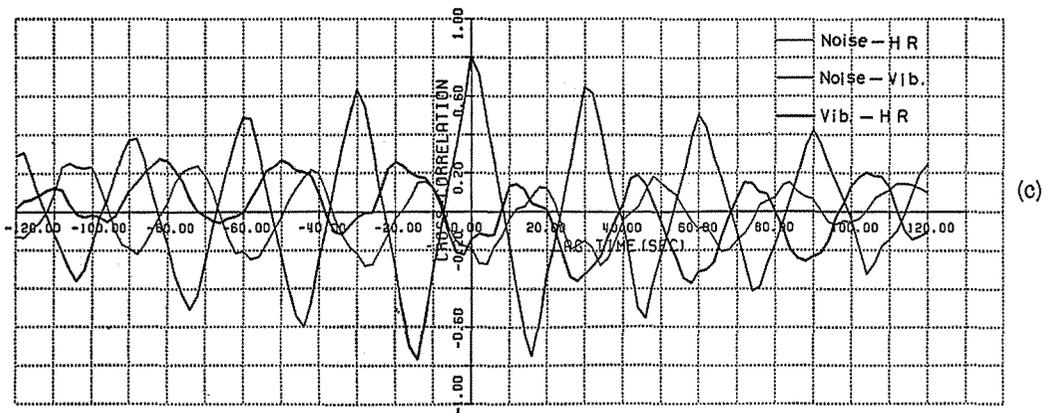
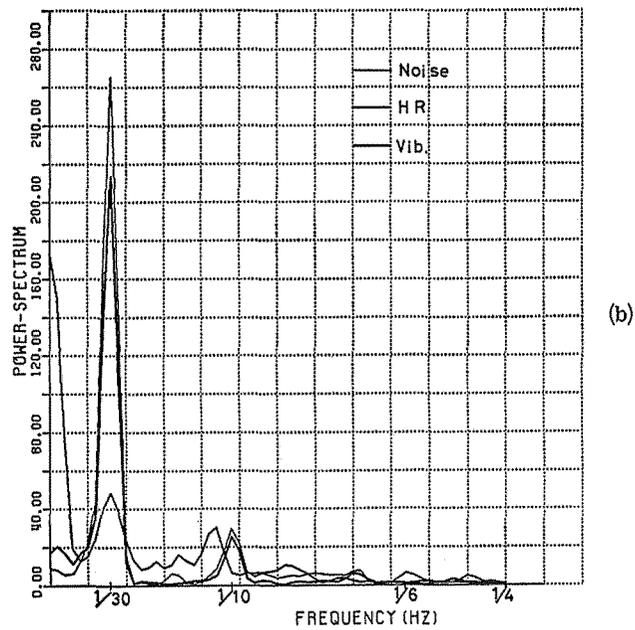
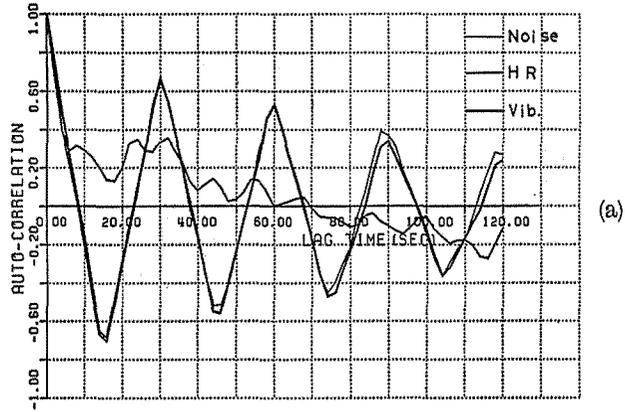


Fig. 8 do. (a single cylinder chain saw and subject A)

引用文献

- 1) 藤井禎雄・山本俊明：伐木造材手段の相違が作業負担におよぼす影響について，京大演報，45，153～162，1973
- 2) 藤井禎雄・武田宜也：トラクタ騒音と心拍数との相関について，90回日林論，503～505，1979

Résumé

With FM wireless telemeter heart rates and surface electromiograms (EMG) of the forearm of three young healthy male subjects were measured and recorded with an analogue datarecorder when they held statically a dumbbell (2kgf~10kgf) with their right arms and were exposed to vibration and noise of a chain-saw.

In order to study the relations between heart rate and integrated EMG value and static load, regression equations were calculated. And also in order to study the correlation among noise, vibration and heart rate, auto-, cross-correlation functions and power spectra were calculated with a digital computer.

The results: 1. Approximately both heart rate and integrated EMG value linearly related to the static load (see Fig.-1~Fig.-5). 2. Heart rate fluctuation fairly corresponded to the fluctuations of noise and vibration of a chain saw during operation (see Fig.-6~Fig.-8). 3. Heart rate and EMG have been shown to be able to be applied in evaluating of the static work and the skilled work.