

論 文

筋活動電位と心拍数からみた  
チェーンソー玉切作業条件について

伏見 知道\*・井上 章二\*・山田 正美\*\*・李文彬\*\*\*

A study on the bucking conditions with a chain saw  
on the basis of heart-rate and electromyography

Tomomichi FUSHIMI, Shoji INOUE  
Masami YAMADA and Wenbin LI

**Summary :** We discussed the bucking condition with a chain saw on the basis of physiological responses of operator.

The chain saw with a horizontally opposed twin-cylinder engine and weight 8.9kg was used, in the range of engine speed from 6,000 rpm to 9,000 rpm. In the pressed cutting, an operator presses a chain saw against a cross cutting wood, and in the non-pressed cutting, a chain saw is not pressed but cuts down only by the self weight of chain saw. The average action potential (EMG) at ten points on main five kinds of operator's muscle (Fig. 1) and the average heart-rate were measured using wireless telemeter during log (20-30cm  $\phi$ , ) bucking by a chain saw on the even ground. The height of log centre was almost same as the knee height of the operator. After measurement, all action potential of muscle and heart-rate recorded to a magnetic tape and then their values were quantitatively analyzed using a polygraph and a personal computer.

In non-pressed cutting the average action potential was about  $100 \mu\text{V}$ , but some readings on muscle biceps brachii of left hand were over  $300 \mu\text{V}$ . In pressed cutting, many values of average action potential were over  $200 \mu\text{V}$ , and the higher potentials than the other muscles appeared in muscle triceps brachii on both hands and in right trapezius. The potentials of muscle triceps brachii and trapezius on right side were of higher level than that on left side. In pressed cutting, the change of action potentials were of higher level on lower speed than that on higher speed of cutting with a chain saw. The reason for the individual variation appearing especially in muscle biceps brachii of left hand, was due to the difference of relative distance between the subject and

\* 林業生産工学研究室 Laboratory of forest engineering

\*\* 林業生産工学研究室 (現:今治市役所, Imabari city office)

\*\*\* 大学院連合農学研究科 (現:米山工業 K.K., Yoneyama Industry K.K.)

the cutting log, consequently the difference of standing height of subjects.

The ratio of increase of heart-rate showed higher value in pressed cutting than that in non-pressed cutting, and the value on lower speed was generally higher than that on higher engine speed. The period during non-pressed cutting of a log disk was over 3.5 times as long as that during pressed cutting.

On the basis of the duration of physiological load, efficiency and exposure of vibration and noise, the suitable condition for the bucking on even ground will exists around the cutting speed ranging from 7,000 rpm to 8,000 rpm in pressed cutting at log centre under knee height of operator.

**要 旨** 平坦地におけるチェーンソー玉切作業時の作業者的心拍数と筋電位を観察し、作業者の生理的負担からみた、好適玉切条件を考察した。

水平降下切削時の本体の押し付けの有無により自重切削と圧着切削に分け、切削中回転数6,000~9,000 rpmで、直径約30cmの丸太を地上65~72cm（丸太中心が膝位置以下）から鋸断した。作業者の主要筋5種、左右10箇所の筋活動電位および心拍数の変化を検出し、連続記録後、再生してデジタル化し平均値を求めた。

筋電位は筋の種類によってかなり変動している。自重切削時には、平均的に $100\mu V$ 前後であるが、左上腕二頭筋では $300\mu V$ を越える例がある。圧着切削時には、平均的に $100\mu V$ 前後から $200\mu V$ を超える例が多いが、特に、左右の上腕三頭筋と右側僧帽筋では高い値である。自重切削と圧着切削に共通して、左右の差が明かなのは僧帽筋と脊柱起立筋であり、共に右側が高い値である。回転数の変化に伴う筋電位の変化は、圧着切削時に、低回転数で高く、高回転数で低下している。個人差が特に現れたのは、左上腕二頭筋であるが、被験者の身長が異なり、被切削丸太との相対的位置が相違していて、この筋では、切削姿勢の違いの影響が敏感に現われるものと思われる。

心拍数増加率は切削時回転数の変化に対応して僅かながら変動し、ほぼ一定の傾向を示す。圧着切削時の低回転数でやや高く、高回転数では一般的に低値を示し自重切削時の値に近づいてくる。さらに、切削所要時間みると、自重切削時は圧着切削時の約3.5倍以上であり、圧着切削時の7,000 rpm~8,000 rpmで最も短くなっている。

平坦地における玉切作業では、能率、切削所要時間すなわち生理的負担の持続時間および振動・騒音の暴露時間を考慮すると、好適切削条件は丸太中心が膝位置からやや下で、圧着切削7,000 rpm~8,000 rpmの間にあると考えられる。

## I. はじめに

従来、チェーンソー作業における作業者の労働安全性を高めるために、玉切切削時諸条件、すなわち切削回転数や切削操作の違いが、振動・騒音および切削能率に与える影響について考察してきたが、今回は更に、作業時の生理負担を筋電および心拍数の面から考察することにした。筋電は、大脳の運動中枢から運動指令が出ると、運動単位を発火させ活動電位が放出されるものである。筋収縮に参加する筋繊維の数および各運動単位の発火頻度が多いほど、大きな筋電が観察される。それで筋電は筋収縮の程度を示す指標として利用でき、運動や動作を解析する際の有効手段の一つであり、人間工学的研究においてよく用いられている。筋肉の負担は、切削時の姿勢すなわち切削対象丸太と作業者体軀の相対的位置関係および切削操作方法によって変化するし、心拍数は酸素摂取量と比例し生理負担の指標の一つになっている。玉切作業における最も適切な

姿勢についてはいくつかの報告がある。辻<sup>1)</sup>の微速度撮影機を使用した動作分析図による考察では、丸太（切削径40～50cm）中心位置が膝の高さの時に、動作が最も滑らであるとしているので、筋電位の定量的観察により確かめたい。荒牧ら<sup>2)</sup>による筋電位の定性的観察では、供試スギ丸太（切削径約7cm）で、切削姿勢が前屈から頭上支持まで、切削方法も「廻し切り」や「合わせ切り」も含めて網羅的に実験して、「標準（原文では“バーの中央付近で材を鋸断した時の標準的姿勢をさす”）」が最も筋電の発現が少なく好ましいとしているけれども、林業の実際とは必ずしも適合していないし、客観的具体性が乏しい。更に、藤井ら<sup>3)</sup>は心拍数と呼吸数を計測し、チェーンソーの機種（主として重量と騒音の違い）や玉切時（切削径約20cm）の作業姿勢が生理負担を大きく左右し、平坦地の玉切作業では60秒程度の切削で中度くらいの作業、10秒以下では軽度の作業に相当することを報告している。最近はまた、井上ら<sup>4)</sup>が、切削位置が地上高120cm、70cmおよび20cmの場合の生体負担を調べ、70cmで最も作業がしやすいものが多く、高い位置では肩や上腕の疲れを訴える割合が多いと報告し、更に、立川ら<sup>5)</sup>は、ビデオカメラにより玉切作業時の姿勢を分類考察している。そこで、筆者等は、既往の実験条件、すなわち切削中回転数およびチェーンソー操作方法の区分に従い、直径20～30cmの丸太を使用し、玉切時の主要筋種の活動電位および心拍数の変化を定量的に解析し、生理負担の面から平坦地における玉切作業を考察したので報告する。なお、実験に協力いただいた研究室の職員および学生、取りまとめに当り御助言を頂いた農産機械学安部武美教授および農産施設学鶴崎孝教授に謝意を表する。

## II. 実験方法

- 1) 供試機 : 水平対向2気筒型チェーンソー 共立CS 651-T  
全装備重量8.9kg, 排気量65.0 (32.5×2) ml。  
ソーチェーン緊張度3.0%
- 2) 供試材 : 皮付きモミ丸太、直径20～30cm、乾量基準含水率84～138%。
- 3) 切削位置 : 丸太の上面が、床上65～72cmに固定。丸太の中心位置52～58cm。
- 4) 切削方法 : 自重切削（チェーンソー自重により降下切削し、スロットルレバーを調節し回転数を一定に保つ）。  
圧着切削（チェーンソーをフルスロットルで、材に押し付け一定回転数を保ちつつ降下切削する）。
- 5) 切削回転数 : 6,000rpm, 7,000rpm,  
8,000rpm, 9,000rpm,  
の4段階とし、ディジタルエンジンタコメータDET-302使用。
- 6) 被験者 : 2名、被験者Iは身長168cm、体重62kg、切削時膝高47cm。被験者IIは身長177cm、体重56kg、切削時膝高55cm。ともに22才の学生であり、3) および4)について予備実験で練習のうえ測定。

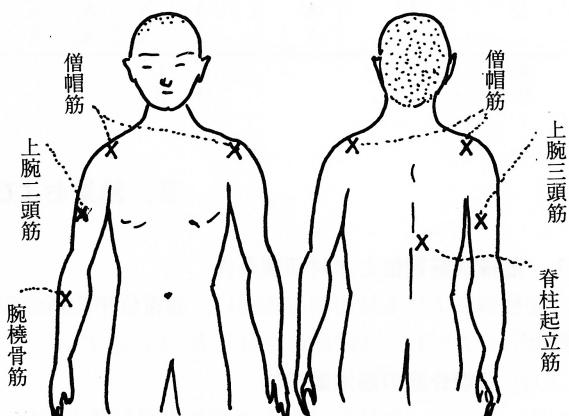


図-1 筋活動電位(EMG)測定位置

7) 筋活動電位：被験筋は、荒牧らの結果<sup>2)</sup>から、電位の発現が明瞭なもの全てと、手持ち作業と心拍数に関係があると考えられる部位を加え、図-1に示す腕橈骨筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、僧帽筋および脊柱起立筋のそれぞれ左右合計10箇所で測定。被験者は、同時に体の2箇所の筋に筋電検出用電極と心拍数測定用電極を貼付し、3通りの信号を携帯型送信機から送信した。

実験は、同一筋について、同一切削条件毎に、まず「エンジン停止でチェーンソー持ち上げ静止、丸太に載せる」の後、約1分間休止、次に「エンジン始動、持ち上げ静止15秒後、木材切削1回実行」その後約1分～1分50秒間休止、以後同様の木材切削を小休止を挟んで、自重切削3回と圧着切削3回合計6回を繰り返し、次の回転数に移るよう

にした。この間、筋電と心拍数の変化は全て多用途テレメータ511で受信し、データレコーダMR-30によりMTに連続記録した。実験は昭和63年12月7日から15日まで6日間に、予備実験を含め合計240回の測定用切削を実行した。

後日、MTの記録を再生し、多機能集約形記録計8M36(オムニライト)により200μsecの間隔でサンプリングし、デジタル変換したのち、パソコン処理し算出平均値をもって、一連続切削時の測定筋電位とする一方、その間の平均心拍数もポリグラフの瞬時計測ユニットその他により計測した。

更に、切削円板の最大挽幅とこれに直交する直径を計測し、平均半径から円板面積を、また切削所要時間を測定し、単位時間当たり切削面積を求めた。

表-1 測定値のバラツキ度合

被験筋 部位・被験者	切削条件 ×10 <sup>3</sup> rpm	自重切削				圧着切削			
		6	7	8	9	6	7	8	9
腕骨筋									
右	I	A	A	A	A	D	D	B	A
	II	A	B	B	A	A	D	B	B
左	I	B	B	B	A	A	A	A	A
	II	D	B	B	B	A	D	B	B
上腕二頭筋									
右	I	A	B	B	A	A	A	B	A
	II	C	C	C	A	D	D	B	A
左	I	D	B	D	C	D	B	D	B
	II	D	C	A	A	A	B	B	B
上腕三頭筋									
右	I	A	A	A	A	B	A	B	D
	II	A	A	A	A	B	B	A	B
左	I	A	A	A	A	A	B	A	B
	II	A	A	A	A	D	B	B	B
僧帽筋									
右	I	A	A	A	A	A	A	D	D
	II	C	D	C	A	D	C	D	B
左	I	A	A	A	A	A	A	B	D
	II	A	A	A	A	A	A	A	A
脊柱起立筋									
右	I	A	A	A	A	A	A	A	A
	II	B	A	A	A	A	A	A	B
左	I	A	A	A	A	A	A	A	A
	II	A	A	A	A	A	A	A	A

A : 小  
B : 中

C : 大  
D : 著大

### III. 結果および考察

#### 1. 筋種別筋電位と木材切削条件

筋種別および木材切削方法別に、筋電位平均値の変化を図示し、また各繰り返し測定値間の変動度合をA～Dの4段階に区分し表-1に示す。

##### (1) 腕橈骨筋の筋活動電位

チェーンソー保持方法および切削中回転数の変化に伴う腕橈骨筋活動電位の変化を図-2に示す。

自重切削時には、被験者Iは、右腕で平均49.3～58.0(45～60)μV、左腕で平均78.0～93.3(55

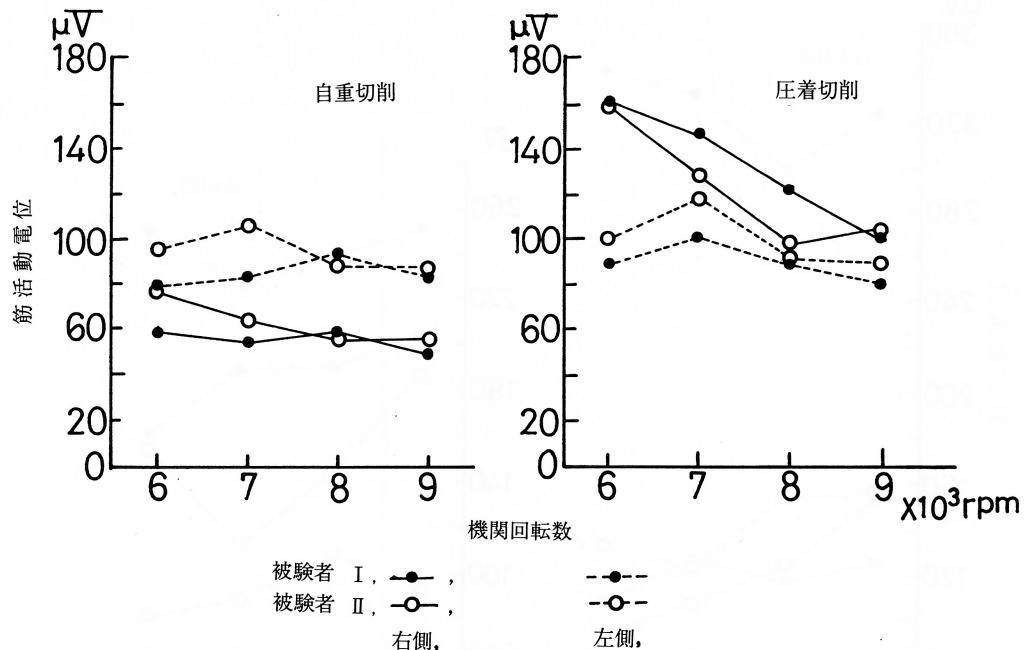


図-2 腕橈骨筋の平均活動電位とチェーンソー切削条件の違い

$\sim 100$   $\mu$ V で、被験者Ⅱは、右腕で平均55.0~76.7 (45~80)  $\mu$ V、左腕で平均83.0~103.3 (65~130)  $\mu$ V で、両被験者とも左腕にやや力がかかるとしている。低回転でやや変動するものの繰り返し間の違いは少なく、チェーンソーの回転数の変化に対する変動はほとんど見られない。

圧着切削時には、被験者Ⅰは、右腕で平均100.0~160.3 (80~170)  $\mu$ V で低回転数で変動がやや大きいが回転数の増加とともに低下している。左腕で平均80.0~100.7 (70~110)  $\mu$ V、バラツキが少なく繰り返しに対し安定した状態で、7,000rpmを境に回転数とともに低下している。被験者Ⅱは、右腕で平均98.0~159.0 (80~170)  $\mu$ V、左腕で平均89.7~118.3 (70~160)  $\mu$ V で、両腕とも特に7,000rpmでバラツキが大きいが、その他の変動は比較的少なく回転数とともに低下の傾向を示す。結局右腕で筋負担がやや大きいが、回転数の増大とともに左右の差は減少している。

玉切作業における本筋の負担は少なく、圧着切削では自重切削に比べて、右腕で比較的変化が現れ、筋負担が幾分大きくなる様相を示しているのに対し、左腕では比較的近似した値を示している。

## (2) 上腕二頭筋の活動電位

チェーンソー保持方法および切削中回転数の変化に伴う上腕二頭筋活動電位の変化を図-3に示す。

自重切削時には、被験者Ⅰは、右腕で平均105.7~125.7 (105~135)  $\mu$ V で回転数の上昇とともに低下の様子を示すのに対し、左腕で平均298.3~340.3 (220~410)  $\mu$ V で、右腕に比べ著しく高く、かつ繰り返し間での変動が大きい。被験者Ⅱは、右腕で平均92.3~154.3 (80~190)  $\mu$ V で、左腕でも平均122.7~154.0 (120~190)  $\mu$ V で9,000rpmでやや高いものの、左右の値は比較的類似しており、繰り返し間の変動は右腕でやや大きく左腕では少ない場合が多い。両被験者とも左腕にやや力がかかるとしているけれども、被験者Ⅰの左腕を除きチェーンソーの回転数の変化に伴う低下が窺われる。

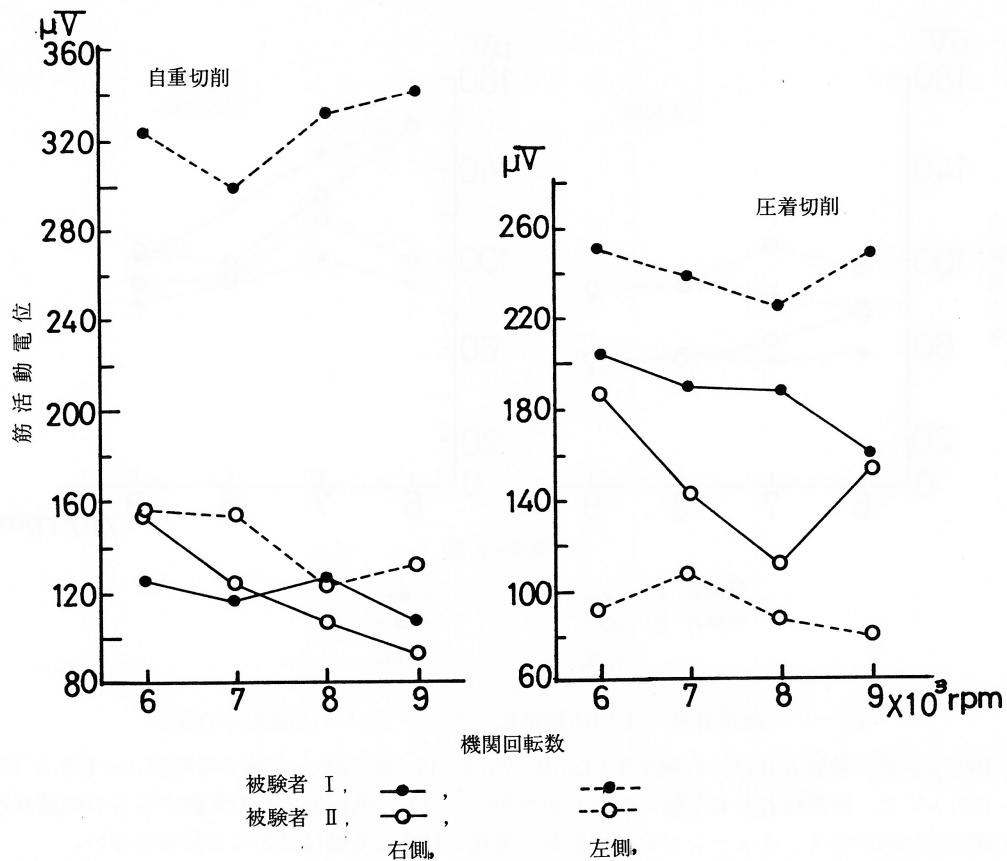


図-3 上腕二頭筋の平均活動電位とチェーンソー切削条件の違い

圧着切削時には、被験者Ⅰは、右腕で平均159.3～206.3 (155～215)  $\mu\text{V}$  で自重切削時よりも明らかに高い値で、繰り返し間での変動は小さいが、回転数の増加とともに低下しており、左腕で平均224.0～251.3 (190～290)  $\mu\text{V}$  で繰り返しに伴う変動がかなり現れ、自重切削時程ではないが右腕に比べて著しく高い。被験者Ⅱは、右腕で平均111.0～186.3 (100～240)  $\mu\text{V}$  で、平均的には被験者Ⅰより低い値にまで広がっているが繰り返し間の変動は低回転数で著しい、左腕では平均80.0～107.3 (70～125)  $\mu\text{V}$  で比較的低い値で、繰り返し間の変動も少ない。結局、被験者Ⅰでは左腕で筋負担がやや大きいのに対し被験者Ⅱでは右腕が左腕より高い値を示している。

筋活動電位の値が、被験者に共通して、自重切削時に右腕より左腕で高いのは腕橈骨筋の場合と同様であるが、上腕二頭筋では被験者Ⅰで特に著しい差が現れている。圧着切削時には被験者Ⅰにだけ同様の現象が現れている。両切削時の左腕の測定値に現れた特異な結果は、身長と体重が、被験者Ⅰは168cm, 62kgで平均的であるのに対し、被験者Ⅱは177cm, 56kgの長身軽量で、身長差12cmが影響している。すなわち、同一切削位置に丸太を固定した本作業においては、丸太中心位置が前者には「膝の高さ」位置で腕をやや曲げて前ハンドルを保持するのに対し、後者にとっては「膝より下」になり左腕を僅かに伸ばした状態で前ハンドルを保持することになるため、両者の上腕二頭筋の負担に相違が現れたものと考える。本実験条件下でのこの筋は、特に影響を受けやすいものと思われる。

### (3) 上腕三頭筋の活動電位

チェーンソー保持方法および切削中回転数の変化に伴う上腕三頭筋活動電位の変化を図-4に

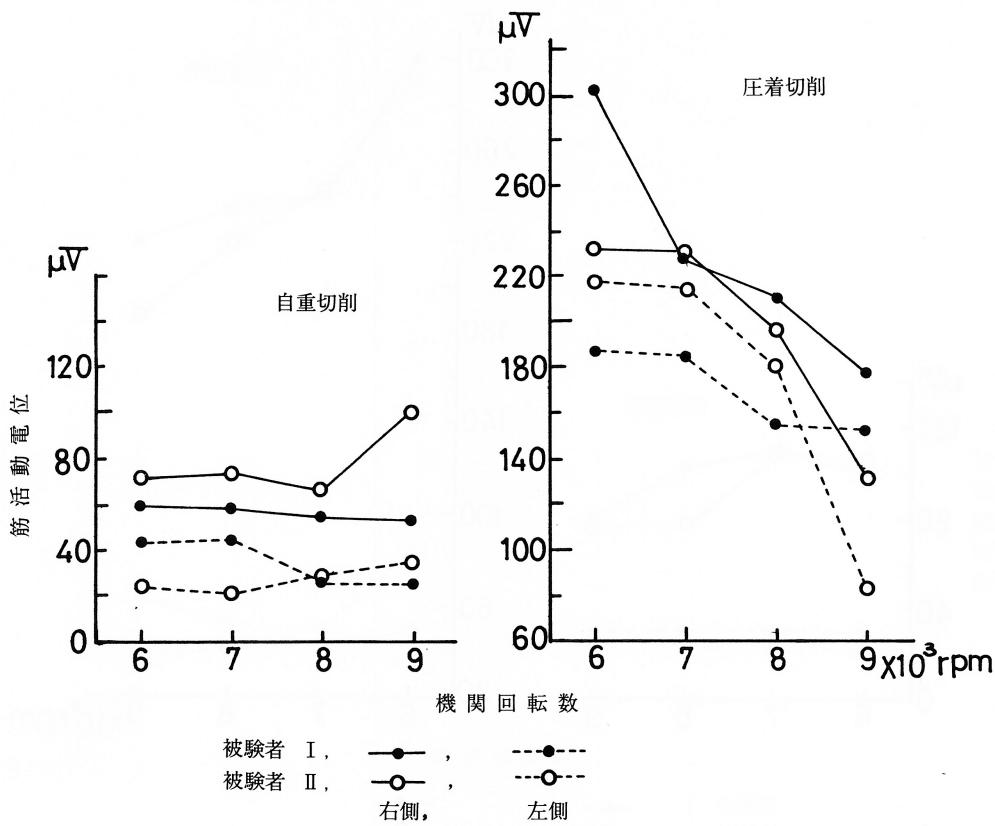


図-4 上腕三頭筋の平均活動電位とチェーンソーの切削条件の違い

示す。

自重切削時には、被験者Ⅰは、右腕で平均51.7~59.0 (40~80)  $\mu\text{V}$ 、左腕で平均23.7~43.3 (20~50)  $\mu\text{V}$ で、右腕がやや高いが全体に低い値で変化も少ない。被験者Ⅱは、右腕で平均66.0~98.7 (60~110)  $\mu\text{V}$ 、左腕で平均20.3~33.3 (20~39)  $\mu\text{V}$ で、ともに9,000rpmでやや高くなるが変化は少ない。両被験者とも、繰り返し間の変動もほとんど無く安定した値で、右腕にやや力がかかっているものの、筋負担は僅かである。

圧着切削時には、被験者Ⅰは、右腕で平均177.3~302.3 (120~320)  $\mu\text{V}$ で回転数の増加とともに急激に低下しており、9,000rpmでバラツキが大きく、左腕で平均152.0~186.0 (130~200)  $\mu\text{V}$ で回転数とともに低下している。被験者Ⅱは、右腕で平均131.3~232.0 (110~270)  $\mu\text{V}$ 、左腕で平均82.0~218.3 (60~280)  $\mu\text{V}$ で、左腕の6,000rpmでバラツキが大きいほかは、両腕ともバラツキは少なく、回転数とともに低下の傾向を示す。結局右腕で筋負担がやや大きい。

玉切作業における本筋の負担は、自重切削時には100  $\mu\text{V}$ 未満で少ないが、圧着切削では自重切削に比べて増大し、特に右腕で著しいのだが、6,000rpmを最大として、回転数が増大、すなわちチェーンソーの押し下げ力の減少とともに低下し、9,000rpmでは200  $\mu\text{V}$ 以下になっている。またバラツキは、一二の例外を除き極めて少なく安定している。

#### (4) 僧帽筋の活動電位

チェーンソー保持方法および切削中回転数の変化に伴う僧帽筋活動電位の変化を図-5に示す。

自重切削時には、被験者Ⅰは、右肩で平均80.7~109.3 (70~110)  $\mu\text{V}$ で変動は極く僅かだが、回転数の上昇とともに漸減の様子を示し、左肩で平均30.0~31.3 (25~35)  $\mu\text{V}$ で、右肩に比べ

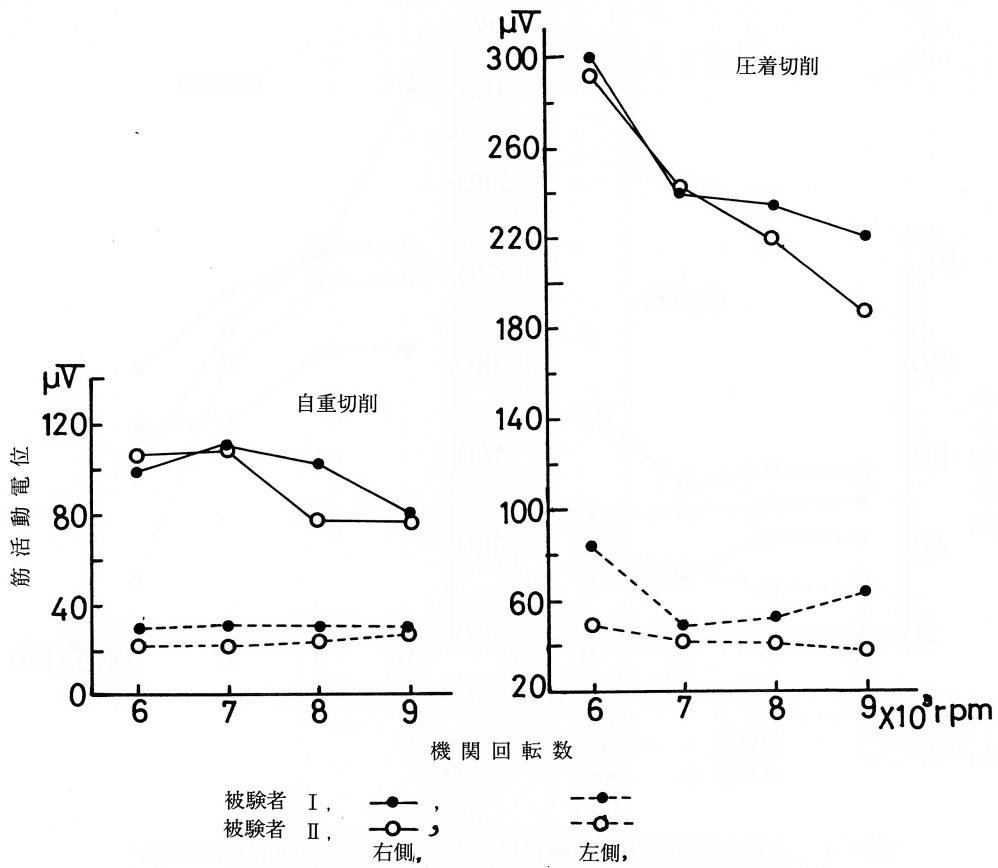


図-5 僧帽筋の平均活動電位とチェーンソー切削条件の違い

全体にかなり低い値で変化も少ない。被験者Ⅱは、右肩で平均76.7~108.7 (60~160)  $\mu\text{V}$ で、バラツキがかなりあるものの回転数の上昇とともに漸減し、平均的には被験者Ⅰと類似の様子を示す。左肩では平均22.0~29.0 (20~35)  $\mu\text{V}$ で、被験者Ⅰの左肩とほぼ同様である。両被験者とも右肩にやや力がかかっていて左肩の二倍から四倍の値を示している。

圧着切削時には、被験者Ⅰは、右肩で平均220.3~300.0 (140~340)  $\mu\text{V}$ で、9,000rpmでかなりバラツキが現れるが、回転数の増加に伴う低下の傾向を示す。左肩で平均49.0~84.3 (40~110)  $\mu\text{V}$ で、右肩同様9,000rpmでバラツキがやや大きいが、全体としては回転数とともに低下の様子を示している。被験者Ⅱは、右肩で平均186.3~292.3 (170~340)  $\mu\text{V}$ で値が高く、バラツキもやや大きい。左肩では平均38.7~49.7 (35~55)  $\mu\text{V}$ で低い値で変動も少ない。結局、右肩で筋負担がかなり大きく、左肩の四倍から五倍に達している。被験者の違いが右肩で認められるが、その差は少なく、両被験者とも左右でそれぞれ類似の傾向を示している。

玉切作業における本筋の負担が、左肩で極めて少なく右肩で大きいのは、チェーンソー保持により右腕は曲げていて、右肩が上がるため右肩に力が入る結果である。この負担が、自重切削時には僅かであるが、圧着切削では増大し、回転数の増加、すなわちチェーンソーの押し下げ力の減少とともに、低下していくのであるが、圧着切削時は右手でフルスロットルの状態にした後ハンドルを握りしめているため、筋負担もそれだけ大きくなるものと思われる。

### (5) 脊柱起立筋の活動電位

チェーンソー保持方法および切削中回転数の変化に伴う脊柱起立筋活動電位の変化を図-6に

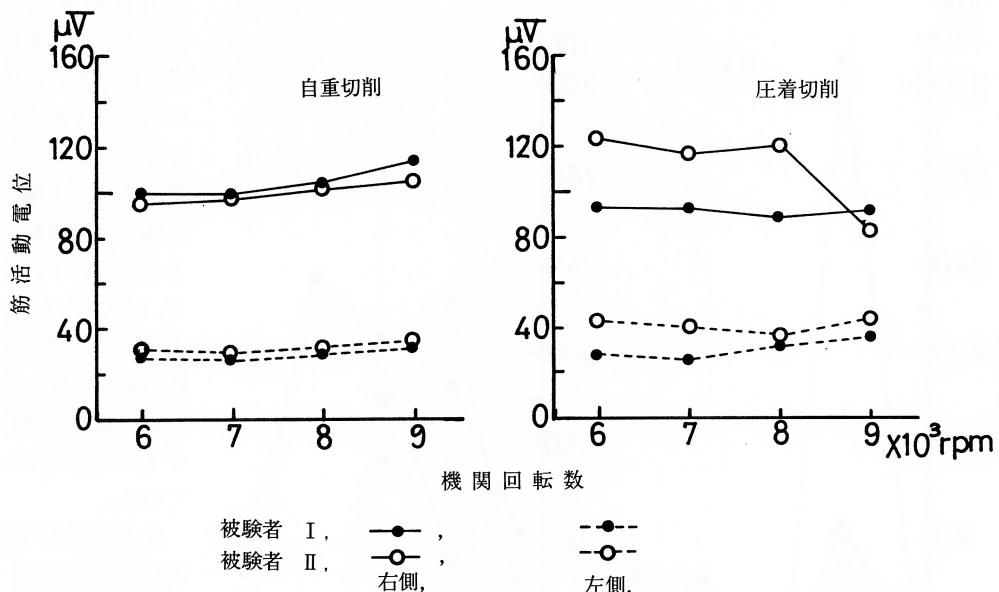


図-6 脊柱起立筋の平均活動電位とチェーンソー切削条件の違い

示す。

自重切削時には、被験者Ⅰは、右脊で平均99.7~113.3 (95~115)  $\mu$ Vで、左脊で平均26.5~30.5 (25~34)  $\mu$ Vで、被験者Ⅱは、右脊で平均94.7~105.3 (80~120)  $\mu$ Vで、左脊では平均29.0~34.3 (26~42)  $\mu$ Vである。いずれの値も回転数の上昇に伴う変化は僅かである。両被験者とも、ほぼ同様の値を示し、左脊の負担は極めて少なく、右脊では左脊の三倍前後の値でやや力がかかるっている。

圧着切削時には、被験者Ⅰは、右脊で平均89.3~93.0 (80~105)  $\mu$ Vで変化に乏しい、左脊で平均24.8~35.0 (24~40)  $\mu$ Vで高回転数でやや上昇の様子を示すものの平均的には変化に乏しい。被験者Ⅱは、右脊で平均81.7~122.7 (70~130)  $\mu$ Vで9,000rpmで低下し被験者Ⅰと類似する。左脊で平均35.3~43.1 (32~54)  $\mu$ Vで、回転数の増加に対する変化は少ない。結局、右脊で筋負担がやや大きく、左脊の二倍から三倍を示している。被験者の違いによる差が右側でいくぶん認められる。

玉切作業における本筋の負担は、左脊で極めて少なく右脊でやや大きいのは、チェーンソー保持により体が右前方にやや傾くこと、切削に伴うチェーンソーの牽引を抑制するため、筋負担もそれだけ大きくなっている。また本筋では、被験者の違いおよび繰り返し間でのバラツキもほとんど無く、被験筋種の中では電位の変動が少なく安定している。

## 2. 主要筋種間における活動電位の変動

筋種別活動電位の変化を、切削時チェーンソー保持方法別に示した図のうち、切削中回転数8,000rpmの例を図-7に示す。

自重切削時には、前述のように、被験者Ⅰの左腕の上腕二頭筋における特異な値は繰り返しに伴うバラツキ（表-1参照）も加わって現れたものであるが、被験者Ⅱでも右腕の上腕二頭筋でかなりバラツキがある。特異な値を別にすると、自重切削時の筋電位としては、左右の上腕二頭筋でほぼ同様な突出が目立つ、次いで左腕橈骨筋、右肩の僧帽筋および右脊の脊柱起立筋で類似の値を示す。右の腕橈骨筋と右の上腕三頭筋は類似の値を示す。左上腕三頭筋、左僧帽筋および

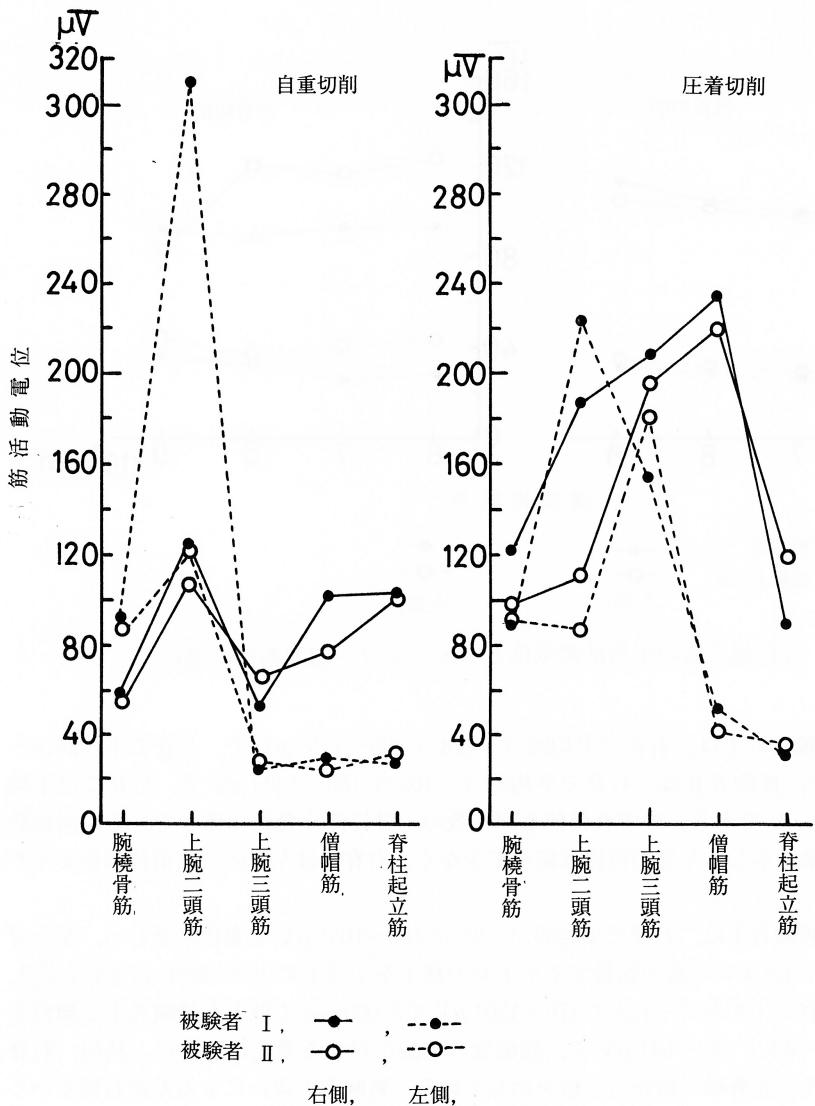


図-7 測定筋種間の活動電位の変化（切削中8,000rpmの例）

着切削による筋負担は自重切削時よりやや多いが比較的には小さい。上腕二頭筋では、左右とも  $100 \mu\text{V}$  から  $200 \mu\text{V}$  以上に達し、自重切削時同様に被験者Ⅱは右腕、被験者Ⅰは左腕でバラツキが大きく、被験者Ⅰが被験者Ⅱより高い値、すなわち個人差が現れることを示している。それらの中で被験者Ⅰの左腕の値が右腕の値を越えて、自重切削時ほどではないが突出する点が特異である。他の筋種の圧着切削時の値は、左が右を越えないか同じぐらいである。これは圧着切削時はチェーンソーの重量を支えるよりも木材に押し付けることが主になるため、腕を屈曲して保持する力が自重切削時よりも弱くなるためと思われる。上腕三頭筋では左右とも大きく、一般には右腕の方で高い値を示し、被験者による違いもやや現れるのだが、圧着切削における本筋は、右肩僧帽筋に匹敵する明らかな負担が生ずることを示している。僧帽筋では、右肩の筋電位が著しく増大し高回転数でも  $200 \mu\text{V}$  を越え、被験筋のなかでは一般的に高い値を示していて、圧着切削時の筋負担が最も大きいことを示している。これに対し左肩の僧帽筋では  $40 \mu\text{V}$  強で、自重切削時とほぼ同様に、筋負担が極めて少ない。脊柱起立筋では、切削に伴う前方への牽引に対し右

左脊柱起立筋では、ごく低い電位で、繰り返しに伴うバラツキが少なくて安定している。要するに、上腕二頭筋では両被験者とも左右いずれかで、かなりバラツキがあり、切削操作の適否に伴い筋負担の変動が現れやすいことを示している。

圧着切削時の筋電位の変化を図-7で概観すると、被験者Ⅰの上腕二頭筋、両被験者の両腕の上腕三頭筋および右腕の僧帽筋の値が特に増大しているのが分かる。そこで先ず、前項での考察を概括しながら筋種別に見てみよう。腕橈骨筋では  $6,000 \text{ rpm}$  以上の回転数では差が少なく類似の値であり、圧

腕で抵抗することになるので、左肩より右肩でやや高い値になるが、回転数の変化あるいは繰り返しに伴う変動はほとんどなく、圧着切削においても自重切削時とほぼ同じく筋負担は比較的少ないことを示している。圧着切削時に切削操作によって筋負担の違いが現れるのは、主として左右の上腕二頭筋と右肩の僧帽筋である。

結局、木材切削に伴う筋電位の発生は、一般的には、右腕僧帽筋で最も高くなり、上腕三頭筋では両腕とも高く、上腕二頭筋では被験者（被切削木との相対的位置関係）あるいは操作方法の違いによって大きな差が現われる。左右で大きい差が現われるのは僧帽筋、次いで脊柱起立筋であるが、いずれも右側で高い。今回の切削高さでは、左腕には上体の体重を掛ける形になるので、圧着切削でも腕だけで特に押し付けるという形式にはならない。右腕は切削点から離れるため、モーメントが大きくなるので水平降下切削するためには、自重切削時は持ち上げ気味に、圧着切削時でも押し下げの力は左腕ほど大きくなく、主として支える腕力になる。そして右腕には更にチェーンソーが前方へ引かれるのに抵抗する力が加わる。圧着切削では、被験者Ⅰの上腕二頭筋の例を除く全てで、また自重切削では、上腕三頭筋・僧帽筋および脊柱起立筋の全てで、右腕および右側の筋活動電位が高いのはこの結果が影響していると思われる。

### 3. 心拍数の変化

記録されたMTを再生し、一連続切削中の平均心拍数を計測した。藤井ら<sup>3)</sup>によれば「一連続切削時間が10秒から60秒ぐらいまでは、作業後30秒から1分30秒でほとんど安静時心拍数水準にまで回復することは間違

ない」と言う。本実験では一切削時間が7～50秒で、一切削ごとに約1分間ないし1分40秒間以上の休止を挟んでいる。今回の実験における心拍数の経時的变化に関する一組の例（自重切削3回と圧着切削3回をそれぞれ繰り返す）を、図-8に示す。4秒毎に一分間当たり心拍数を図示しているのだが、切削当初の上昇はチェーンソー重量の負担によるもので、木材を切削し始めると重量は丸太に支えられる結果、生理負担が減少し心拍数がやや減少するものと思われる。自重切削時の心拍数の増加は比較的小なく、圧着切削時には明らかに増加している。切削終了と同時に空転中のチェーンソーの全重量を支持することになり心拍数が増加

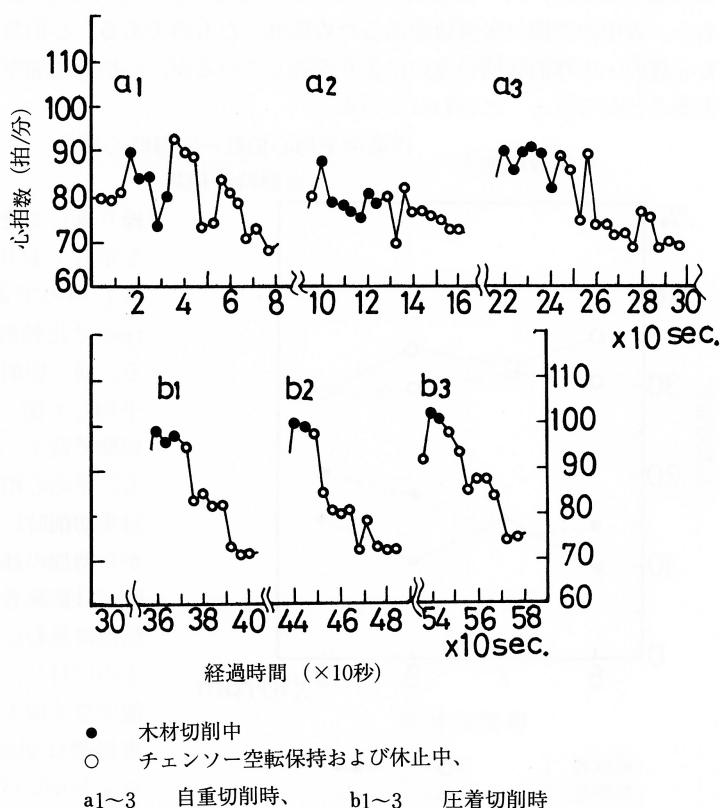


図-8 玉切り作業の反復と心拍数の経時的变化例

表-2 心拍数増加率の変化

被験者 実験番号	I				II			
	切削中回転数 (rpm)	6,000	7,000	8,000	9,000	6,000	7,000	8,000
自重切削	%	%	%	%	%	%	%	%
No. 1	6.8	9.5	13.6	12.3	9.6	12.0	18.0	22.8
No. 2	10.9	15.0	8.2	10.9	15.6	15.6	18.0	24.1
No. 3	8.2	10.9	10.9	12.3	13.6	18.1	19.3	15.9
No. 4	7.8	23.3	9.1	18.1	15.9	7.9	18.1	21.6
No. 5	16.8	19.4	—	24.6	18.1	13.6	15.9	18.1
圧着切削	%	%	%	%	%	%	%	%
No. 1	36.9	34.2	38.3	19.2	32.5	27.7	31.3	31.3
No. 2	34.2	28.7	30.1	34.2	25.3	30.1	31.3	34.9
No. 3	36.9	34.2	32.8	26.0	32.9	37.5	30.6	29.5
No. 4	29.8	32.4	31.1	27.2	30.6	32.9	29.5	27.3
No. 5	42.8	—	38.9	40.2	31.8	29.5	23.8	23.8

する。続いて休止にはいった直後はやや高い値を、ときには若干の増減を繰り返して暫く経過した後、急速に安静時心拍数へ向かって減少している。以上の結果から、一枚の切削毎に休止時間中に安静状態に回復した後、次の切削を実施していると判断される。そこで安静時心拍数に対する増加率を求め、同一切削条件ごとの繰り返し3回の平均を被験者別に示すと表-2のとおりである。表中の空欄は欠測値があるため除外したものである。心拍数は個人により、また同一人でも心理的・生理的状態の違いにより変動しているが、心拍数増加率で示すと個人間の差を小さくすることができる<sup>6)</sup>と言われている。

$$\text{心拍数増加率} = \frac{\text{作業中平均心拍数} - \text{安静時心拍数}}{\text{安静時心拍数}}$$

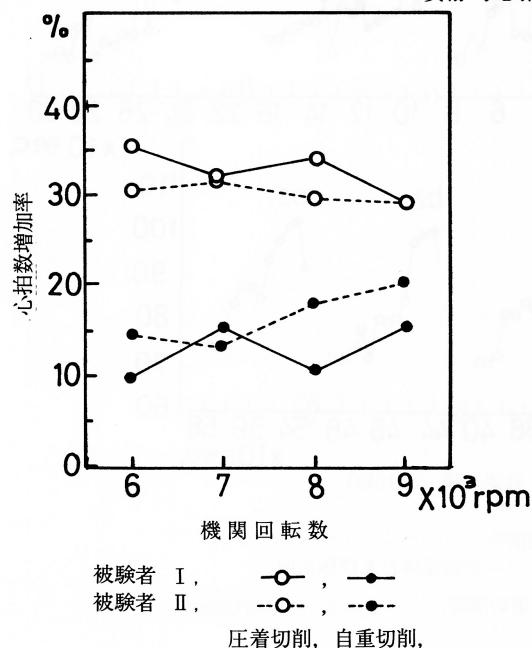


図-9 心拍数増加率とチェーンソー切削条件の違い

繰り返し3回毎の平均値はかなりバラツキを示しており、自重切削では7,000rpmで著しいのであるが、両切削法とも8,000rpmで比較的安定しているように思われる。同一切削条件毎の合計12回の計測値を平均して図-9に示す。計測結果は、自重切削で低く、圧着切削で幾分高くなっている。平均心拍数増加率を総括的にみると、自重切削時には回転数の上昇に伴い僅かながら増加の様相を示すのに対し、圧着切削時には被験者Ⅰでは低回転数で高く、高回転数に進むにつれ漸減する様子を示しているのに対し、被験者Ⅱでは変化の様子が明確でなく個人差を示すものと思われる。自重切削は切削回転数の増加とともに、スロットルレバーの引っ張り力が増すだけだが、心拍数が僅かに増大するのは、藤井<sup>7)</sup>が指摘するように、主として騒音レベルの増大の影響と思われる。すなわち藤井は、

重い電動チェーンソーと軽いエンジン付きチェーンソーで鋸断中の心拍数増加率をみており、後者で大きく、騒音の影響をよく示しているとしている。チェーンソーの騒音は、回転数が高くなるほどレベルが上昇するのが一般的で、それに伴う生理的影響の増加もうなづけるところである。圧着切削はチェーンソーをフルスロットルのまま、木材に押し付け一定回転数で切削するので、6,000rpmでの押し付けが最も強くなり、平均心拍数も比較的高く、心拍数増加率は自重切削時の約2~3倍以上に達している。回転数の上昇に伴い押し付けが緩くなってゆくので心拍数も低下してゆき、9,000rpmでは自重切削時の1.5~2倍と小さくなっている。このような変化傾向は、今回の実験の中で、被験者の違いや実験日が異なる（生理的状態の幾分の変動が推定される）場合にも、ほぼ同様に認められた。今回の実験条件下における切削時的心拍数増加率は、ほとんどが33以下で、心拍数に基づく労働階級の分類<sup>8,9)</sup>によると「低い労働強度」ないし「軽労作」のクラスに入り、圧着切削時の若干例が34以上を示し「適当な労働強度」ないし「中労作」のクラスに入るに過ぎない。一般的に、心拍数の変化と酸素摂取量とは比例関係<sup>10)</sup>にあり、著者等も確かめているのであるが、上の結果は、作業者の生理負担からみた合理的な作業条件を考察する場合の一指標として役立つであろう。

#### 4. 生理負担からみた玉切作業条件

今回我々は、従来取り上げてきた玉切時の切削条件、すなわち「普通切り」（水平降下切削）における諸条件の変化に対応する、筋活動電位および心拍数の変化を定量的に観察したので、これらの結果を基に玉切作業条件を考察してみる。

まず、既往の解明点を要約すると次の通りである。

辻<sup>1)</sup>は、チェーンソーによる玉切作業における作業者の身体各部の動きを微速度撮影の観察結果から、最も滑らかな動きを示す動作について観察し、丸太の切削位置と体軸の適切な関係を明らかにしている。チェーンソーによる玉切作業における身体各部の角度は、左腕はまっすぐに

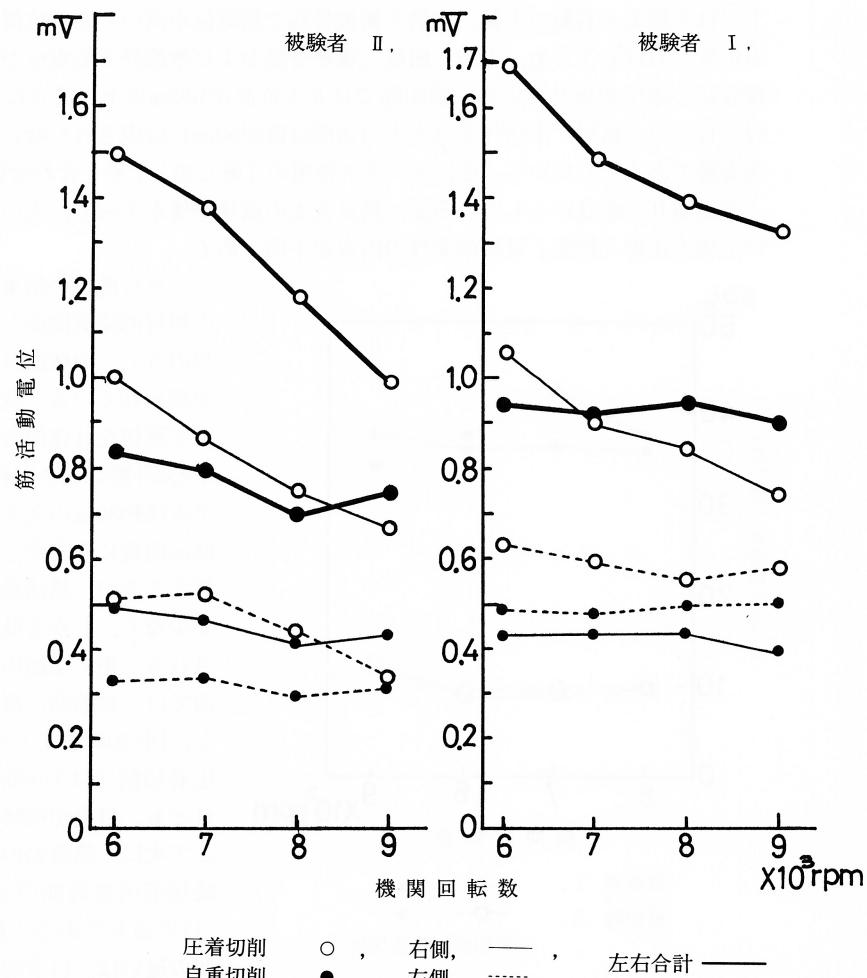


図-10 被験筋の総活動電位の変化

伸ばし左手による前ハンドルの握りが135度前後が多く、右腕は肘の曲がりが125~160度で右手と後ハンドルの握り角は110~130度が多い、体位は、上半身がほぼ垂直（体軸に対し5度前後）か40度前後の前屈が約60%以上である。次に作業点の高さと動作の関係については、玉切対象物（丸太）の位置を、腰、膝、足および足下46cmに固定して、玉切作業中の身体各部の動きを動作分析図で調べた結果、丸太位置が膝の時に、一番円滑に動いているよう、切削位置の高さにチェーンソーの高さをえた作業点が、体軸に一番近くなり、膝関節も適度に曲げた姿勢になり、振動や圧着力の面からも良いと言っている。

荒牧ら<sup>2)</sup>は、身長168cm、体重72kgの若年作業者の筋電位の定性的評価に基づき、チェーンソー作業における合理的姿勢とチェーンソー切削の基本形について言及している。チェーンソーを玉切姿勢で保持した時（左手で前ハンドル上部を、右手で後ハンドルを把握）の基礎的筋負担として、空転時の結果を見ると以下のようである。左の腕橈骨筋と僧帽筋で筋電位が高い、機械を高く保持すると更に右の僧帽筋および左右の三角筋にも高い筋電位が現われ、機械の支持に加わることを示している。また右の上腕二頭筋の電位は後ハンドル操作に伴うものであるが、脊柱起立筋および下肢部では筋電位はほとんど認められない。なお、エンジン停止の静的保持では空転時よりやや低い値が現れている。次にスギ丸太（直径約7cm）切削時では、切削位置を-20cm, 20cm, 60cm, 100cm, 140cm, 180cmの高さに設定して筋電位を観察している。切削位置-20cmと100cm以上では左腕より右腕の上腕二頭筋と腕橈骨筋で筋電位が高い。切削位置が20cmと60cmではその他の位置におけるよりも、上腕二頭筋、腕橈骨筋および僧帽筋で筋電位が低いのだが、右より左で幾分高い電位が現れている。僧帽筋では丸太位置が100cm以上の場合に筋電位が増大し、特に左肩で目立つ。結局、玉切作業は丸太の切削位置が60cmに設定された時に筋の活動が弱く、楽な作業姿勢であるとしている。更にスパイク使用の「廻し切り」や「合わせ切り」についても観察し、「普通切り」が良いとしているが、供試丸太の直径が僅か7cmで、太い枝程度であること、および玉切方法の「標準」は切削条件の内容が不明である。

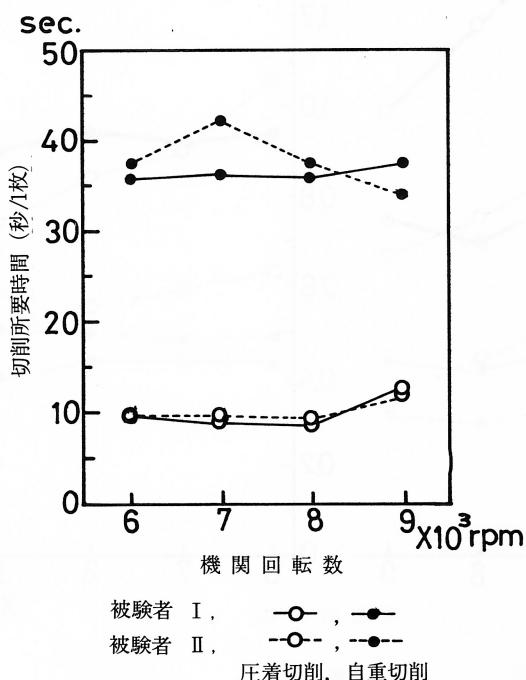


図-11 一断面切削所要時間の変化

これら既往の結果によると、丸太と作業者の相対的位置関係とチェーンソー切削の基本形のうち、肉体的負担の比較的少ない条件域が絞られている。我々は、この絞られた範囲内で適切な具体的条件を求めてきた。丸太の中心が「膝の高さ」（標準的体格では45cm内外）で直径約30cmの丸太を定置すると切削位置は65cm前後になるが、丸太を幾分低い位置に設置する方が、筋活動電位（特に左腕）の変動が少なく、しかも低位に安定するものと判断される。更に切削中回転数および操作方法の面では、被験筋に関する筋電位の総量で見ると、図-10に示すように、自重切削で少ない。圧着切削では9,000rpmで最も少なくなるけれども、自重切削時の1.3~1.8倍である。そこで次に、筋緊張の持続時間、すなわち一連続切削所要時間の平均値の変化をみると図-11の通りである。被験者による切削所要時間の違いは、自重切削時に大きいが、圧着切削時にはほぼ同様であり8,000rpm付近で最

も短い様子が窺われる。すなわち、生理的負担の持続時間は自重切削時が圧着切削時の約3.6倍以上に達している。

ここで、筋電の作業者に対する負荷量を想定してみる。すなわち筋電位（ $E_a$ ,  $E_b$ ）と発生持続時間（ $t_a$ ,  $t_b$ ）の積を「筋電位負荷量（ $TE_a$ ,  $TE_b$ ）」としてみると次のようになる。ただし、 $a$ は自重切削時を、 $b$ は圧着切削時を示す。

$$TE_a \text{ (or } TE_b) = E_a \text{ (or } E_b) * t_a \text{ (or } t_b)$$

いま、図-10の結果から  $t_a = 3.6 t_b$

$$\text{図-9の結果から } E_b = (1.3 \sim 1.8) E_a \text{ となるが, } E_b = 1.5 E_a$$

$$\text{を取ると } TE_a = E_a * t_a = 2.4 E_b * t_b = 2.4 TE_b$$

となり、本実験における10秒程度の圧着切削時は、筋負担が少なく、藤井<sup>3)</sup>の結果と同様に軽度の作業に相当する。

切削能率は<sup>12)</sup>圧着切削の8,000rpm付近で最高であり、能率に関連する生理的負担の持続および騒音・振動の暴露時間、更に実際の作業現場では自重切削よりも圧着的切削が一般的であること等を考慮すると、著者の同様供試機による玉切能率<sup>12)</sup>や単位切削面積当たり振動暴露量<sup>13)</sup>におけると同様に、玉切り好適条件として圧着切削7,000～8,000rpm付近が考慮される。

#### V. おわりに

チェーンソー玉切作業に主として関与する筋種の活動電位の発現量および心拍数の変化を考察した。平坦地における供試チェーンソーの好適玉切条件としては、切削所要時間すなわち筋電および心拍数の変化と持続時間、振動・騒音の暴露量、作業能率および現場の一般的な現実を注視すると、丸太の中心位置が膝からやや下で、圧着切削7,000～8,000rpmが考慮される。

#### 引用文献

- 1) 辻 隆道：人間工学から見た林業労働、宏林タイムス社、東京、29～32、111～113、1973
- 2) 荒牧 利武・阿部 武美・山下 淳・植木 正剛：表面筋電図からみたチェーンソー作業の合理的姿勢、農業機械学会関西支部報、39、5～9、1976
- 3) 藤井 祐雄・山本 俊明：伐木造材作業の特質について—作業者の生理的变化を通しての考察一、京都大学農学部演習林報告43、233～235、1972
- 4) 井上 公基・長谷川徹也・神代 雅晴：チェーンソー作業における作業条件の違いが生体負担に及ぼす影響、100回日林論、819～820、1989
- 5) 立川 史郎・大里 正一：チェーンソー伐木造材作業における作業姿勢について、99回日林論、717～718、1988
- 6) 大島 正光ほか8名編集：人間工学ハンドブック、518pp、金原出版、東京、1966
- 7) 藤井 祐雄：林業における作業負担の質的変化とその評価の仕方、日本林業の将来、佐々木功教授退官記念論文集、199～210、1987
- 8) 辻 隆道：人間工学からみた林業労働、292pp、宏林タイムス、東京、1973
- 9) 鶴崎 隆・垂井不二男・疋田 慶夫：呼気流速の測定に関する研究、愛媛大学総合農学研究彙報、23、29～45、1980
- 10) 沼尻 幸吉：エネルギー代謝と心拍数との相関について、労働科学、50(2)、79～88、1974
- 11) 李 文彬・伏見 知道・井上 章二：急傾斜地の下刈作業における作業者の心拍数の変化と作業時間について、日本林学会誌、72(3)、216～222、1990

- 12) 伏見 知道・加藤 光司・竹崎 宏和：チェーンソー造材時の諸条件と切削面積速度に関する二三の知見，愛媛大学演習林報告，25，59～68，1987
- 13) 伏見 知道：チェーンソー作業における作業規制に関する研究（V）—玉切能率と振動暴露—，愛媛大学演習林報告，23，1～14，1985

(1990年7月31日受理)