下肢部の局所的圧迫が皮膚温および筋電位に及ぼす影響について

綿貫 茂喜, 三平 和雄

大阪市立大学 生活科学部

The Effect of Partial Pressure on Lower Extremity upon Skin Temperature and Electromyogram

Shigeki WATANUKI, and Kazuo MIHIRA

Faculty of Science of Living, Osaka City University.

Sugimoto-cho, Sumiyoshi-ku, Osaka-city, 558 Japan

The purpose of this study was to investigate the effect of partial pressure on the lower extremity upon the skin temperature (Ts) and the electromyogram (EMG).

In the measurement of Ts, the upper region of the ankle or the lower region of the thigh in the right extremity was pressured with a cuff (7cm in width) inflated at 40 or 80mmHg for 60min. The experiment was also conducted under normal conditions. Ts of the dorsal side of the feet, the lower part of the pressure region, the upper part of pressure region and a symmetrical region of pressure in the left extremity were measured while the subject was sitting. For the measurement of surface EMG, the gastrocnemius, the tibialis anterior, the vastus medialis and the vastus lateralis were measured with the knee in a bending posture for 9min. Prior to exercise, the angle of ankle joint was adjusted to get the level of contraction corresponding to about 25% of the maximum voluntary contractions (MVC) of the tibialis anterior. Pressure was then applied to the leg or the thigh by a cuff inflated to 20, 40, 60 or 80mmHg during 2-7min of the work. The experiment was also conducted under normal condition. The results were as follows. Generally Ts was decreased by the pressure. However, there was no significant difference in the degree of decrease between pressures. And furthermore, the Ts of dorsal side of right foot was the same as that of left foot regardless of the pressurized region. The Ts of a symmetrical region decreased as compared with that of the pressurized region regardless of the pressurized region. It was inferred that the decrease of the Ts might have resulted from the action of a pressure reflex.

In a non-active muscle (gastrocnemius), the change of %MIE (Maximum Integrated EMG) by the pressure (Δ MIE) was not shown regardless of the pressure region. In an active muscle (tibialis anterior), Δ %MIE was not shown while the thigh was pressured, however, in the case of where the leg was pressured at 80mmHg, the Δ %MIE decreased. It seemed that application of high pressure to a working muscle improved its work efficiency. However, after release of the 80mmHg pressure the increase of %MIE created by the release of pressure until the end of work was large as compared with normal condition. It was inferred that application of the pressure to the active muscle might have produced the increment of muscle load.

Key word : Partial pressure, Skin temperature, Electromyogram

1. はじめに

下肢部の圧迫は極度に窮屈なズボンや与圧服着用時に発生する。前報（綿貫と三平, 1986）では下肢部与圧時の心理特性の変化について検討したが、本報では圧迫が生理機能の1つである皮膚温および筋電位に及ぼす影響を検討した。圧迫による皮膚温の変化については過去にも報告されているものがあるが（大野と田中, 1974）、下肢部の細かい部位間の皮膚温の相違については検討されていない。また、圧迫が筋作業に及ぼす影響は阻血状態では検討されているが（Humphreys and Lind, 1963, Magora et al. 1980）、下肢部を拘束してはいても衣服による拘束の影響のように阻血を生じない程度の圧迫が筋作業にどのような影響を与えるかについては未だ明らかにされていないようである。そこで本研究では阻血を生じない程度の下肢部の局所的な与圧が下肢部皮膚温および筋作業時の下肢部の筋電位に及ぼす影響を検討した。

2. 方法

2-1(1) 皮膚温の測定

被験者は健康な女子大学生で、表1に示すA, Bを用いた。圧迫部位と圧迫量及び皮膚温測定部位は以下の通りである。

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Subj.	Age (yr.)	Height (cm)	Weight (kg)	BSA (m ²)
A	22	161.6	50.8	1.48
B	22	150.5	43.7	1.32
C	22	158.1	50.2	1.45

Body surface area (BSA) was estimated by the equation of Fujimoto et al., (1968).

圧迫部位は前報で圧迫に対する感受性が良いことが示された大腿下部と、我々が常日頃靴下等で圧迫する機会の多い足首上部を右足を例として選んだ。用いた圧迫布は前報で総圧迫量〔単位面積当たりの圧迫量 (mmHg) × 圧迫幅 (cm)〕に対する圧迫感が小さいことが示された幅7 cmのカフである。この幅は下肢部における圧迫部位間の2部位弁別丁度可知差距離に相等しい。なお、圧迫布は血圧を測定する際に用いるカフのような構造であるが、圧迫幅を規定するために長さ7 cmで直径2 mmの竹を1 mmの間隔をあけな

がら簾状に組んだ上に幅7 cmのゴム袋を置き、それらを伸びない布（シーチング生地）で包んだものである。これにより皮膚に接する圧迫面積を正確に与えることができる。なお、ゴムの上側（非皮膚接触側）と布とは接着し圧力が皮膚方向に作用するようにした。

圧迫量は前報で示されたように圧迫部に“ややきつい”という圧迫感が生じる40mmHgと、“きつい”という圧迫感が生じる80mmHgである。

皮膚温の測定部位は圧迫部位（右足）の近接する上と下、圧迫部位の中央に対称な非圧迫側（左足）の位置、圧迫側の右足背と非圧迫側の左足背の計5ヶ所である。

本実験では下肢部を露出した場合と衣服で被覆した場合を区別し、いずれの場合も身体が温熱中性域の近傍で快適状態にある二種の温熱環境条件(A)を設定した。即ち(A1)気温25℃で長袖ブラウス、ズボン、ソックス、ブラジャー、パンティーを着用した場合と(A2)気温28℃で長袖ブラウス、ショートパンツ、ブラジャー、パンティーを着用した場合である。

被験者は皮膚温測定用サーミスタを装着した後、椅座位で皮膚温の定常状態を得るために1時間安静にした。そして、1時間足首上部あるいは大腿下部を圧迫した。なお、コントロールとして非圧迫時の場合も実験した。各部位の皮膚温について40mmHg或いは80mmHg圧迫時の圧迫終了直前の値から圧迫開始直前の値を減じた値(ΔTs)を求め、非圧迫時の実験での同時期のΔTsと比較した。

2-1(2) 筋電位の測定

被験者は表1中のAおよびCである。圧迫部位は下腿中央部および大腿下部で、皮膚温実験と同じ幅7 cmの圧迫布を用い、20, 40, 60, 或いは80mmHgの圧力で圧迫した。なお、下腿中央部が圧迫されると前脛骨筋と腓腹筋が、大腿下部が圧迫されると内側広筋と外側広筋が圧迫される。筋電位は内側広筋、外側広筋、前脛骨筋、腓腹筋の4筋について筋繊維の走行方向に平行に表面電極を貼り付け双極誘導により導出した。ここに、電極間距離は25mmとし、電極間抵抗は20kΩ以下とした。

作業は下肢部がズボン等により圧迫され易く下肢部に大きな筋負担がかかる尻を落としたしゃがみ位の保持である。この時、足首の関節角度は前脛骨筋の活動レベルが最大筋力(MVC)の約25%となるように予め

設定した。なお、前脛骨筋の最大筋力は足首を背屈させて求めた。また、他の筋の最大筋力は以下の方法によった。内側広筋と外側広筋は脚を前方に伸ばし膝関節を伸展させた。腓腹筋は上方より負荷をかけ爪先立ちをさせた。いずれも関節の近位端を固定し、遠位端に動かない抵抗を加えた。

被験者は電極を付け、各筋の最大筋力を測定した。そして椅座位で10分間安静にした後、9分間のしゃがみ位の姿勢を維持し、続いて10分間の椅座位安静回復を保った。しゃがみ位を維持している間の2分目から7分目にかけて5分間圧迫した(圧迫期)。従って、初めの2分間および7分後の2分間は圧迫しないでしゃがみ位を維持していることになる。なお、7分目から9分目までを除圧期と呼ぶ。この9分間という作業時間は被験者が姿勢を維持し得るほぼ最長の時間であった。なお、コントロールとして9分間を通して非圧迫時のしゃがみ位の実験も行った。

安静時と回復時及び作業時と最大筋力測定時のEMGをペンレコーダ(日本電気三栄, 8S36)に直記すると共にデータレコーダ(TEAC, R-71)に記録し、実験終了後積分計(日本電気三栄, 積分ユニット1322)にかけEMG積分値を求めた。

各筋の筋負荷レベルを最大筋力発揮時のEMG積分値に対する比率(%MIE: Maximum Integrated EMG)で表した。各筋について圧迫終了直前の%MIEから圧迫開始直前の%MIEを減じた値(圧迫期の Δ %MIE)と作業終了直前の%MIEから圧迫終了直前の%MIEを減じた値(除圧期の Δ %MIE)を求めた。非圧迫時にも同時期の Δ %MIEを求め、各圧力での Δ %MIEと比較した。

3. 結果

3-1(1) 皮膚温の変化について

圧迫部位の Δ Tsはその部位に近接する上下の Δ Tsが同じ変化傾向を示したので平均して求めた。

足首上部圧迫時の圧迫部位と圧迫部位対称位置の Δ Tsについて被験者数を繰り返し数とし温熱環境条件(A), 部位(B), 圧力(C)を要因とする分散分析を行った。交互作用はなく温熱環境条件と部位は危険率5%で、圧力は危険率1%で有意差があった。そこで、各要因について水準毎に平均値を求め平均値間の差を検定し、その結果を図1のCASE Iに示す。 Δ Tsの下降

度は温熱環境条件(A 1)の方が(A 2)よりも大きく、圧迫部位(B 1)より圧迫部位対称位置(B 2)の方が大きかった。非圧迫時と比較して40mmHgおよび80mmHg圧迫時での Δ Tsの下降度は大きかったが、40mmHgと80mmHg圧迫時との間には有意差はなかった。次に同圧迫時の圧迫側の末梢である右足背と非圧迫側の末梢である左足背の Δ Tsについて先と同様に分散分析を行った。交互作用はなく温熱環境条件は危険率1%で圧力は危険率5%で有意差があったが、部位には有意差はなかった(図1, CASE II)。 Δ Tsの下降度は温熱環境条件(A 1)の方が(A 2)よりも大きかった。非圧迫時と比較して40mmHgおよび80mmHg圧迫時での Δ Tsの下降度は大きかったが、40mmHgと80mmHg圧迫時との間には有意差はなかった。

今度は大腿下部圧迫時の圧迫部位と圧迫部位対称位置の Δ Tsについて先と同様に分散分析を行った。交互作用はなく温熱環境条件が危険率1%で、圧力と部位は危険率5%で有意差があった(図1, CASE III)。 Δ Tsの下降度は温熱環境条件(A 1)の方が(A 2)よりも大きく、圧迫部位(B 1)より圧迫部位対称位置(B 2)の方が大きかった。非圧迫時と比較して40mmHgおよび80mmHg圧迫時での Δ Tsの下降度は大きかったが、40mmHgと80mmHg圧迫時との間には有意差はなかった。次に同圧迫時の圧迫側の末梢である右足背と非圧迫側の末梢である左足背の Δ Tsについて先と同様に分散分析を行った。温熱環境条件のみが危険率5%で有意差があった(図1, CASE IV)。 Δ Tsの下降度は温熱環境条件(A 1)の方が(A 2)よりも大きかった。

3-1(2) 筋電位の変化について

%MIEを4筋について求めたが、一般に外側広筋、内側広筋、腓腹筋には非圧迫時を含め圧迫時においてほとんど活動がなかった。そこで非活動筋への圧迫の影響については腓腹筋の変化から検討した。これは筋自体が圧迫された場合(下腿中央部圧迫時)と筋の上部が圧迫された場合(大腿下部圧迫時)とが比較可能なためである。活動筋への圧迫の影響については前脛骨筋の%MIEの変化から検討した。

腓腹筋の圧迫期(表2)と除圧期(表3)の Δ %MIEについて圧迫部位(B)と圧力(C)を要因とし被験者数を繰り返し数とする分散分析を行った所、圧迫期およ

Fig. 1 Means and 95% confidence limit of ΔT_s by level in each factor. CASE I, CASE II and CASE III, CASE IV showed ΔT_s while upper region of ankle and lower region of thigh was pressured respectively. CASE I; ΔT_s of pressure region and symmetry region. CASE II; ΔT_s of dorsal side of right and left foot. CASE III; ΔT_s of pressure region and symmetry region. CASE IV; ΔT_s of dorsal side of right and left foot. *: <.05, **: p<.01

び除圧期のいずれも両主要因および交互作用は有意な値ではなかった。

次に圧迫期の前脛骨筋の $\Delta\%MIE$ について先と同様に2要因の分散分析を行った所、圧迫部位は危険率5%水準で、圧力は危険率1%で有意差があった(図2, 上段)。 $\Delta\%MIE$ は外側広筋上を圧迫した場合(B2)と比較して前脛骨筋上を圧迫した場合(B1)の方

が小さい。また、非圧迫時と比較して20, 40, 60mmHg圧迫時には有意差はないが、80mmHg圧迫時には減少した。除圧期の前脛骨筋の $\Delta\%MIE$ について先と同様に2要因の分散分析を行った所、圧力のみが危険率5%で有意差があった(図2, 下段)。 $\Delta\%MIE$ は非圧迫時と比較して20, 40, 60mmHg圧迫時には有意差はないが、80mmHg圧迫時には増加した。

Table 2. Analysis of variance for $\Delta\%MIE$ of gastrocnemius during pressure.

FACTOR	SS	DF	F
B	.05	1	2.27
C	.16	4	1.78
B×C	.16	4	1.87
E	.22	10	
TOTAL	.59	19	

B: pressure region, C: pressure

Table 3. Analysis of variance for $\Delta\%MIE$ of gastrocnemius after release of pressure.

FACTOR	SS	DF	F
B	4.03	4	2.55
C	.02	1	.05
B×C	.95	4	.60
E	3.96	10	
TOTAL	8.96	19	

B: pressure region, C: pressure

Fig. 2 Means and 95% confidence limit of $\Delta\%MIE$ of tibialis anterior by level in each factor during pressure applied (upper figure.) and after release of pressure (lower figure.). B1; in the case of tibialis anterior was pressured. B2; in the case of vastus lateralis was pressured. *; $p < .05$. **; $p < .01$

4. 考 察

4-1) 皮膚温の変化について

温熱環境条件(A 1)および(A 2)において被験者はいずれも心理的に快適な状態であったが、皮膚温の下降度は温熱環境条件の(A 1)の方が(A 2)より大きかった。即ち気温が低いと、下肢が被覆されても皮膚温の下降度は大きいことが示された。

大腿下部圧迫時の左右の足背の皮膚温(CASE IV)を除いて、他の皮膚温は40mmHg 或いは80mmHg で圧迫すると一様に下降した。しかしながら、皮膚温の下降度には40mmHg 圧迫時と80mmHg 圧迫時とで差がなく、かつ足首上部圧迫時でも大腿下部圧迫時でも、圧迫側の足背の皮膚温の下降度と非圧迫側の足背の皮膚温の下降度との間に差はなかった。従って、本研究における皮膚温の下降は単なる圧迫部位下での血流障害という物理的作用に基づくというよりはむしろ他の生理的作用に基づくのではないかと思われた。その生理的作用の一つとして以下のことが考えられた。皮膚温の部位差は圧迫部位と圧迫部位対称位置との間でみ

Fig. 3 Time course of ΔT_s (upper and lower part of pressurized region, symmetry region) in subject (A) during 80mmHg of pressure putted on the upper region of ankle in the thermal condition A1.

られ、足首上部圧迫時でも大腿下部圧迫時でも非圧迫側の圧迫部位対称位置の皮膚温が圧迫部位より低かった。図3に実験データの一例(subj. A, 温熱環境条件A1, 圧力80mmHg)を示す。圧迫開始後約10分目から圧迫部位の上下、圧迫部位対称位置の皮膚温が下降し始めるが、圧迫部位対称位置の皮膚温が25分目から急に下降するのに対し、圧迫部位の皮膚温は25分目以降わずかに下降した。従って、圧迫部位と圧迫部位対称位置との間の皮膚温に差があったのは圧迫部位の皮膚温の下降が圧刺激により抑制されたためと推察される。高木(1951)は圧反射の一例として皮膚圧迫により皮膚温は全体として低下傾向にあり、大多数において圧迫側の皮膚温は下降度が小さく、非圧迫側の下降度が大きいことを示した。本研究とは圧迫部位や圧力など実験手法がかなり異なるが、皮膚温が全体的に低下することや、圧迫部位と圧迫部位対称位置との間の皮膚温の変化は高木の結果と似ており、本研究においても圧反射が生じた可能性がある。

なお、下肢部を40mmHgで圧迫するヒトは圧迫感としてややきつと感じることから(綿貫と三平, 1986), ズボン等を着用した時にややきつと感じるようであれば下肢部の皮膚温が低下することが考えられる。

4-2) 筋電位の変化について

圧迫期の前脛骨筋の%MIEの増加度は外側広筋上を圧迫するよりも前脛骨筋自体を圧迫した方が小さかった。従って、圧迫の筋電位への影響は筋自体を圧迫した場合に生じると考えられる。しかしながら、非活動筋の腓腹筋への圧迫の影響は筋自体を圧迫しても

大腿下部を圧迫してもみられなかった。即ち、筋自体を圧迫しても25%MVC程度の活動をする筋を圧迫した場合にのみ筋電位の減少が生じると考えられる。また、その減少は圧迫量が60mmHg以下では見られず、80mmHgにおいてのみ見られた。一般に、筋負担が増すと筋電位は増加するが、作業筋を80mmHgで圧迫すれば同一仕事量に対して少ない筋活動で済む訳であるから一見作業効率が良くなった様に思われ、ゲートル等を下腿部に巻く一つの利点が説明される。しかしながら、除圧期では、非圧迫時と比較して圧迫量が60mmHg以下では%MIEの増減に変化は見られなかったのに対し、80mmHgで圧迫すると増加した。即ち、この増加は同一仕事量に対して筋負担が大きいことを意味するのではないと思われる。従って、活動筋を圧迫することは結果として筋負担を増す可能性があることが示唆される。なお、非活動筋である腓腹筋では非圧迫時と比較して圧迫期と同様に除圧期でも%MIEの増減に差は見られなかった。また、下肢部が80mmHgで圧迫されると“きつい”という圧迫感が生じることから（綿貫と三平，1986）ズボン等の着用により“きつい”という圧迫感が生じる部位の筋はその活動量が大きい場合に圧迫により筋負担が増す可能性があると考えられる。

5. むすび

皮膚温の実験結果から片方の下肢を圧迫すると両方の下肢の皮膚温は低下したが、その低下度に圧力差はなかった。また、低下度の部位差は左右の足背間にはないが、圧迫部位と圧迫部位対称位置との間にみられ、低下度は圧迫部位の方が小さかった。圧迫による皮膚温の低下理由の一つとして高木らのいう圧反射が考えられた。

筋電位の実験結果より筋が非活動状態であれば圧迫しても筋電位に何ら変化は見られないが、約25%MVCの作業を行う筋自体を80mmHgで圧迫すると筋電位は減少し、一見作業効率が良くなる様に思われた。しかしながら、除圧するとそれは非圧迫時と比較して逆に増加することから、圧迫が筋負担を増す可能性があることが示唆された。

謝辞

稿を終えるにあたり終始懇切な御助言を賜りました大阪市立大学 生活科学部 助教授の花田嘉代子先生に深謝致します。

文 献

- 藤本薫喜, 渡辺猛, 坂本淳, 湯川幸一, 森本和枝, 1968 : 日本人の体表面積に関する研究. 第18篇三期にまとめた算出式. 日衛誌, 23(5) : 7-1414.
- Humphreys, P. W. and Lind, A. R., 1963 : The blood flow through active and inactive muscles of the forearm during sustained hand-grip contraction. J. Physiol., 166 : 120-135.
- Magora, A., Blank, A. and Gonen, B., 1980 : Effects of artificially induced ischemia (AII) on the electrophysiological pattern of muscular fatigue in healthy humans. Electromyogr. clin. Neurophysiol., 20 : 125-140.
- 大野静枝, 田中正敏, 1974 : ファンデーションの着衣条件が身体生理に及ぼす影響について, 家政学雑誌, 25(6) : 486-490.
- 高木健太郎, 1951 : 皮膚圧・自律神経反射. 最新医学, 9(5) : 69-84.
- 綿貫茂喜, 三平和雄, 1986 : 下肢部与圧時の心理的特性の変化について, 生理人類誌. 5(1) : 13-17.

(1986年9月9日受付)