

長時間のリュックサック肩紐圧迫が 血流反応と圧迫感に及ぼす影響

神戸女子大学	吉田美奈子
(共同研究者) 兵庫県立 生活科学研究所	柴田祥江
神戸女子大学	田中希弥
同	田中香利
同	平田耕造

Effects of Prolonged Rucksack - Strap Pressure on Blood Flow and Pressure Sensation

by

Minako Yoshida

Kobe Women's University

Yoshie Shibata

Consumer Science Research Institute of Hyogo Prefecture

Maya Tanaka, Kaori Tanaka, Kozo Hirata

Kobe Women's University

ABSTRACT

To study the effects of the strap pressure of a 9 kg rucksack on physiological and psychological responses by using two different strap widths, 6cm width and 2cm width, eight female subjects participated in the present experiment. Strap pressures at the shoulder were 30 ± 3.5 mmHg in 6cm width and 70 ± 5.4 mmHg in 2cm width. Finger blood flow (FBF) was significantly lower in 2cm width than that in 6cm width at 60 min. Heart rate (HR) increased and was kept at a constant level in 6cm width for 60 min. However, HR increased after 40 min in 2cm width, which was probably linked with decreased FBF. It is suggested that

the increased HR and falling FBF were induced by varoreflex in 2cm width strap pressure.

In the forearm muscle tissue, oxygen saturation (StO_2) and oxygenated hemoglobin contents (HbO) were lower in 2cm width than 6cm width, while deoxygenated hemoglobin contents (HbD) were higher in 2cm width than in 6cm width. These results suggest that muscle blood flow were greatly diminished by a narrower strap than by a wider strap. Subjects voted harder pressure and more unpleasant sensations in 2cm width compared with 6cm width throughout the experiment.

In addition, we examined the manual performance of six operations after carrying the rucksack for 60 min. Finger torque exercise and maximum torque strength were significantly lower in 2cm width than in no pressure control. Endurance time of finger ergometer was significantly shorter in 2cm width than that in 6cm width and no pressure control. It was suggested that comparatively poorer endurance performance in narrow strap width was mainly induced by decreased muscle blood flow.

These results showed that there was no significant difference between either strap width on physiological responses after a short period of strap pressure. However, there were significant differences after a longer period.

要 旨

リュックサックの肩紐6cm幅と2cm幅を用いて、各々9kgの負荷60分間（長時間）での生理心理的反応を若年女性8名について測定し、肩紐幅の違いから検討した。右頸側部で測定した肩紐圧は、6cm幅で 30 ± 3.5 mmHg、2cm幅で 70 ± 5.4 mmHgであった。手指の皮膚血流量は、60分目には6cm幅より2cm幅で有意に低値を示した。心拍数は、6cm幅では60分間ほぼ一定の増加度を示したが、2cm幅では40分目以降さらに大きな増加がみられ、皮膚血流量の低下と連動していた。この結果から、長時間のリュックサック負荷2cm幅では肩紐圧が大きいため、血圧調節反射が生じたものと考えられた。前腕部組織内の酸素飽和度、酸素化ヘモグロビン (Hb) 量は、2cm幅では6cm幅より大きく減少したが、脱酸素化Hb量は増加した。この結果、2cm幅の肩紐では6cm幅より筋血流量の減少度が大きくなることが示唆された。圧迫感

と背負い心地は、終始2cm幅でよりきつい、より心地悪いと申告された。

さらに、リュックサック負荷60分後に6種類の手指パフォーマンステストを行った。指トルク運動、最大指トルクのテストでは、非圧迫時と比べ2cm幅では有意な低下が認められた。指エルゴメーター運動の継続時間は、2cm幅で非圧迫時および6cm幅より有意に短縮した。これは、圧迫による筋血流量の低下度が反映したものと考えられる。

これらの結果より、異なる肩紐幅でのリュックサック負荷において、短時間では生理的負担度に差は認められなかったが、長時間負荷することで、両肩紐間の差は有意に大きくなることが示された。

緒 言

日常生活において肩にかかる圧迫は、リュックサック、ランドセル、バッグの肩かけ紐、赤ん坊を背負う為の紐などいくつもある。リュックサックの肩紐による圧迫力は、肩甲上部で3.6～

6.4kgf/cm² (2650~4710mmHg)¹⁾, ランドセルでは最近になり, 肩部で186.7~346.7gf/cm² (137~255mmHg) という報告²⁾ がなされている. また, 背負うことにより起きる腕神経叢麻痺等の症例^{3,4,5)} や, 麻痺の原因^{1,5)}, リュックサックの改良^{6,7)} に関する研究報告もあるが, 肩紐の身体への生理的影響に関連した研究報告はわずかにみられるにすぎない⁸⁾.

我々は, 5分間のリュックサック負荷を行ったとき, 肩紐幅を2cmから6cmへと拡大させることで, 圧迫感が軽減するにもかかわらず, 手指への皮膚血流量は, 肩紐幅とは無関係に同程度にまで減少するという結果を報告している⁹⁾. しかし, 長時間のリュックサック負荷における心理的および生理的負担度については, いまだ詳細な検討はなされていない.

そこで本研究では, 長時間のリュックサック負荷時の生理的負担度と心理的負担度が異なる肩紐幅によって影響されるか否かを検討し (実験1), さらに手指のパフォーマンスに及ぼす圧迫条件の影響 (実験2) をも検討することを目的とした.

1. 実験方法

実験は, 室温 $28 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, 相対湿度 $40 \pm 3\%$ に調節された生活環境シミュレーター室内にて行った. 被験者は20~22歳の健康な女性8名であり, その身体特性は身長 $160.2 \pm 1.8\text{cm}$ (平均 \pm 標準誤差), 体重 $52.6 \pm 1.8\text{kg}$, 体脂肪率 $21.8 \pm 0.8\%$ であった. 被験者には半袖Tシャツ (綿65%, ポリエステル35%), スポーツブラジャー, ロングトレーニングパンツ, ソックス, 運動靴を着用させた. 実験で装着させたリュックサックは総重量が9kgであり, その肩紐は幅が6cm (6cm幅) と2cm (2cm幅) の2種類で, スポンジ入りの厚みのあるものを用いた.

1. 1 実験1

1. 1. 1 測定項目

指皮膚温の測定には, 皮膚温用サーミスター (D611, TAKARA) を用い, 皮膚血流量の測定にはレーザードップラー血流計 (ALF-21, アドバンス) を使用した. 組織酸素飽和度 (StO₂), 組織総ヘモグロビン量 (HbT), 組織酸素化ヘモグロビン量 (HbO), 組織脱酸素化ヘモグロビン量 (HbD) の各測定は, レーザー組織血液酸素モニター (BOM-L1TR, オメガウェーブ) を使用した. 心拍数は, パルスウォッチ (MRC-1200, 日本光電) により測定した. さらに圧迫感申告, 背負い心地の申告もあわせて測定した. 圧迫感のカテゴリースケールは, 0:何も感じない~5:非常にきつく圧迫を感じる, 背負い心地は, -2:非常に背負い心地は悪い~+2:非常に背負い心地は良いとした.

1. 1. 2 実験手順

被験者には45分間の椅座位安静を保持させ, 各種測定センサーを左上肢に貼付した. 皮膚温用サーミスターは左手中指末節尺側面に, 血流計のプロローブは左手中指末節橈側面に装着した. レーザー組織血液酸素モニターは, 送受光間距離30mm一定のセンサーを使用し, 左前腕部最大囲の橈側手根屈筋直上に貼付し測定を開始した. 指皮膚温が安定した5分後からリュックサックを背負わせ, 60分間の測定を行った.

1. 2 実験2

1. 2. 1 測定項目

おはじき取り: 縦26.3×横18.7×高さ5.8cmの箱に, おはじき (直径約1.5cm, 厚さ0.45mm) 15個を5列×3行に並べ, 片手で取りきるまでの時間を測定した.

最大指トルク: トルク計 (FTD型, 東日製作所) を片手の指で握り, 回内または回外動作時の最大値を測定した.

指トルク運動: 5kgf·cm負荷のかかったトルク

計を片手の指で握り、回内または回外動作を30秒間に実施できた回数を測定した。

カウンタープレス：数取器（手持ち型B，シンワ測定）を、心臓と同じ高さに片手で持ち、30秒間にボタンを押した回数を測定した。

最大握力：握力計（DM-100N，ヤガミ）を用いて、立位にて測定した。

指エルゴメーター運動：被験者の姿勢は椅座位とし、左前腕を自作のエルゴメーター（76×30cm）上に乗せ、45度の示指屈曲による負荷重量の引き上げ運動を行わせた（図3参照）。運動は屈曲2秒間、伸展1秒間を組みとし、毎分20回の頻度で限界に至るまで行わせた。運動開始時の平均負荷重量は、662.5±36.9gであり、運動が5分間を超過する毎に100gずつ加えて運動させた。この間の運動時間、心拍数および主観的運動強度（RPE）を測定した。

以上、指エルゴメーター運動については左手指のみの測定とし、それ以外のテストは両手指での測定とし、その平均値を解析に用いた。

1. 2. 2 実験手順

リュックサック負荷60分後に、6cm幅と2cm幅のリュックサックを各々背負ったままの状態での6種類のテストを行った。リュックサック負荷を行っていない場合（非圧迫）にも同様のパフォーマンステストを行った。

1. 3 肩紐圧の測定

肩紐による圧迫力（肩紐圧）の測定は、衣服圧測定器（AMI3037，エイエムアイ）を使用し、右頸側部、左鎖骨部、左前腋窩部の3点について行った。肩紐にエアバッグを貼付し、座位の被験者にリュックサックを30秒間背負わせた状態で行った。

1. 4 結果の処理

得られたデータはすべて、平均±標準誤差で示した。また平均値の検定は、Student's t-testにて行い、危険率5%以下をもって有意とした。StO₂、

HbT、HbO、HbDについては、相対値を表すものとし、本文中では×10⁴を省略して表示した。

2. 結果

本実験で用いたリュックサックの肩紐圧は、右頸側部で6cm幅が30±3.5mmHg、2cm幅が70±5.4 mmHgであった。同様に左鎖骨部では34±5.7、75±6.0 mmHg、左前腋窩部で12±1.9、24±4.0 mmHgであった。いずれの部位においても2cm幅で圧力値が有意に高値を示した（p<0.01）。

2. 1 実験1

皮膚血流量は、リュックサック圧迫前値からの変化を図1に示した。両肩紐ともに圧迫直後から低下を示し、1分後には6cm幅で18.1±34.8mV、2cm幅で68.5±21.8mV低下した。ところが5分後には、圧迫前よりも各々約85mV、約60mVの増加を示した。その後6cm幅で、5分値をほぼ維持したが、2cm幅では低下傾向を示し、圧迫60分後には圧迫前値に比べ58.5±48.9mVの減少がみられた。60分値の両肩紐間には、有意差が認められた（p<0.02）。

図2には、StO₂、HbT、HbO、HbDのリュックサック圧迫60分間の影響を変化量で示した。StO₂は、圧迫後低下し始め、20分後には6cm幅で3.8%、2cm幅で5.6%低下した。20分目以降はレベルを維持した。HbTは、圧迫10分目までは6cm幅も2cm幅も一時的に増加を示したが、それ以降は圧迫前値に回復する傾向が認められた。

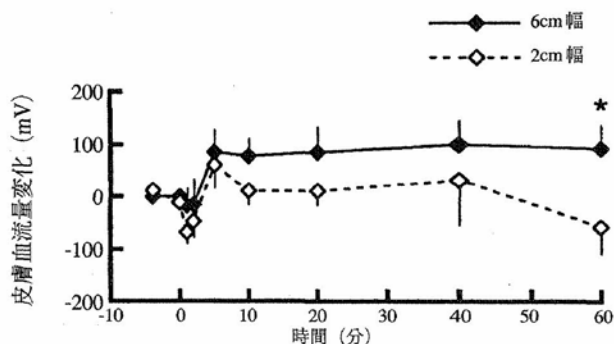


図1 2種類の異なる肩紐による圧迫が皮膚血流量変化に及ぼす影響。平均±標準誤差 * p<0.02

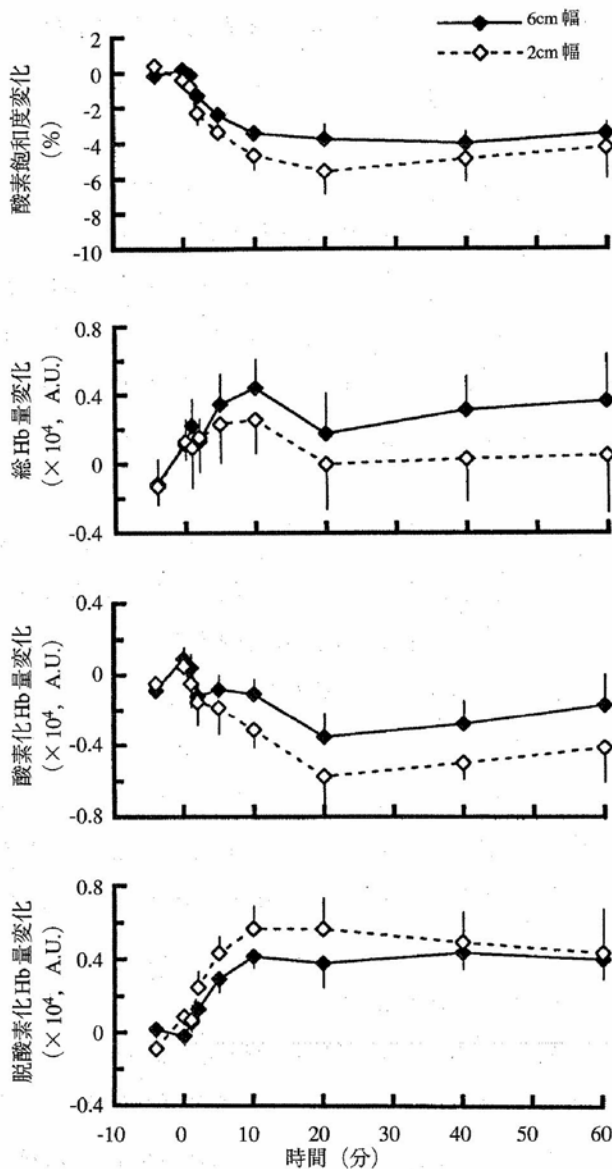


図2 2種類の異なる肩紐による圧迫がStO₂, HbT, HbO, HbDの変化量に及ぼす影響

HbOは、圧迫により両肩紐ともに減少した。その減少度は圧迫直後から2cm幅で大きく、20分後には圧迫前と比較し0.6の減少、6cm幅で0.4の減

少であった。20分目以後は、どちらもゆるやかな増加が認められたものの、両肩紐間の差は以後縮小されなかった。HbDは、HbOとは逆に圧迫により増加し、圧迫10分後には、6cm幅で0.4、2cm幅で0.6を示した。2cm幅ではその後徐々に低下を示し、60分目には6cm幅とほぼ同一の値となった。

肩紐圧迫による心拍数は、圧迫と同時に増加を示した。6cm幅では5分目で3.5 ± 1.4拍/分の増加がみられ、その後は終了までほぼ同値を維持した。2cm幅では5分目で4.4 ± 1.3拍/分の増加が認められ、40分目まで維持したが、その後増加に転じ、60分値は9.0 ± 3.3拍/分の増加であった。

指皮膚温は、圧迫直後より徐々に低下し、60分目には6cm幅で0.5 ± 0.1℃の有意な低下(p<0.01)が、2cm幅で1.3 ± 0.5℃の有意な低下が認められた(p<0.05)。

圧迫感は、圧迫開始後、徐々にきつい申告を示し、60分目には6cm幅で4.4 ± 0.2、2cm幅で4.8 ± 0.2の申告であった。6cm幅よりも2cm幅の方が、よりきつい圧迫感を申告した。背負い心地の申告も、圧迫と同時に心地悪い方へと数値の低下を示し、60分目には6cm幅で-0.9 ± 0.3、2cm幅で-1.6 ± 0.3の値を示し、両肩紐間には有意な差が認められた(p<0.05)。

2.2 実験2

パフォーマンステストの結果を表1に示した。おはじき取り、カウンタープレステストでは、リ

表1 手指のパフォーマンスに及ぼす圧迫条件の影響

テスト種類	非圧迫	圧迫	
		6cm幅	2cm幅
おはじき取り (秒/15個)	18.0 ± 1.0	19.0 ± 0.9	18.9 ± 0.7
最大指トルク (kgf·cm)	9.2 ± 0.8	8.3 ± 0.9	7.9 ± 0.9*
指トルク運動 (回/30秒)	46.5 ± 4.7	42.6 ± 5.5	39.9 ± 5.5**
カウンタープレス (回/30秒)	136.6 ± 2.4	135.5 ± 2.6	133.6 ± 2.9
最大握力 (kgf)	27.6 ± 1.4	26.8 ± 1.5	25.2 ± 1.5

平均 ± 標準誤差 *p < 0.05, **p < 0.01; 非圧迫と2cm幅圧迫条件間の有意差

リュックサックを背負うことによる影響が認められず、かつ、肩紐幅の違いによる影響も認められなかった。最大握力は、非圧迫、6cm幅、2cm幅の順に、平均値の低下がみられたが、各々の条件間に有意な差は認められなかった。最大指トルクと、指トルク運動の結果からは、異なる肩紐幅の影響はみられなかったが、非圧迫と2cm幅の間には各々有意な差が認められた。

図3には、指エルゴメーターの運動時間を圧迫条件ごとに示した。非圧迫で15.9 ± 2.0分、6cm幅で13.0 ± 1.6分、2cm幅で10.3 ± 1.4分であり、2cm幅の運動時間は、6cm幅および非圧迫より有意に短縮した。

指エルゴメーター運動中のRPEと、心拍数変化については図4に示した。運動開始5分後のRPEは、非圧迫で13.5 ± 0.6、6cm幅で14.0 ± 0.9、2cm幅で16.3 ± 1.1となっており、経時的にみると2cm幅が常に一番高い値を示した。いずれの条件でも、運動限界時にはRPEの最高値を示したが、非圧迫よりも6cm幅、6cm幅よりも2cm幅の方が、早く限界に達したことが判明した。心拍数においては、運動開始時はいずれの条件でも74拍/分

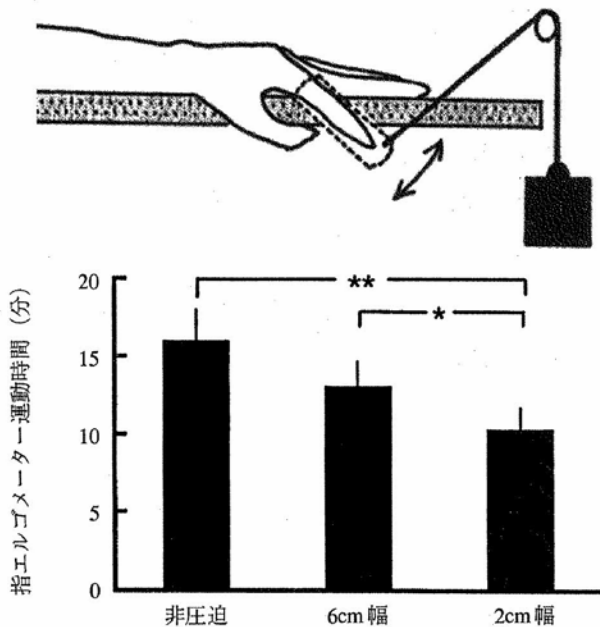


図3 指エルゴメーター運動時間に及ぼす圧迫条件の影響。* p<0.05, ** p<0.01

であり、徐々に上昇を続けた。その上昇程度は、非圧迫時よりもリュックサックによる圧迫時で大きかった。限界時には、非圧迫で83.5 ± 3.4拍/分、6cm幅で85.3 ± 5.5拍/分、2cm幅で85.1 ± 4.1拍/分であり、ほぼ同一の心拍数であった。

3. 考察

本研究では、9kgのリュックサック肩紐圧迫を行った結果、肩紐圧は2cm幅では6cm幅の2倍以上の高値を示した。その為、2cm幅の方が生理的・心理的影響は大きいものと推察されるが、長時間圧迫の影響は、短時間のそれと異なるかどうか検討した。

3.1 実験1

指の皮膚血流量は、圧迫後1, 2分目は圧迫前と比較し減少したが、その後増加を示し、5分目にかけて過剰な上昇が記録された。一定時間の血流遮断後、閉塞が解かれて血流が再開した場合には、骨格筋で反応性充血が起きることが知られているが、これは皮膚においても起こるとされる¹⁰⁾。本実験では、圧迫解除後ではなくリュックサック負荷中ではあるが、皮膚血管においてこの反応性

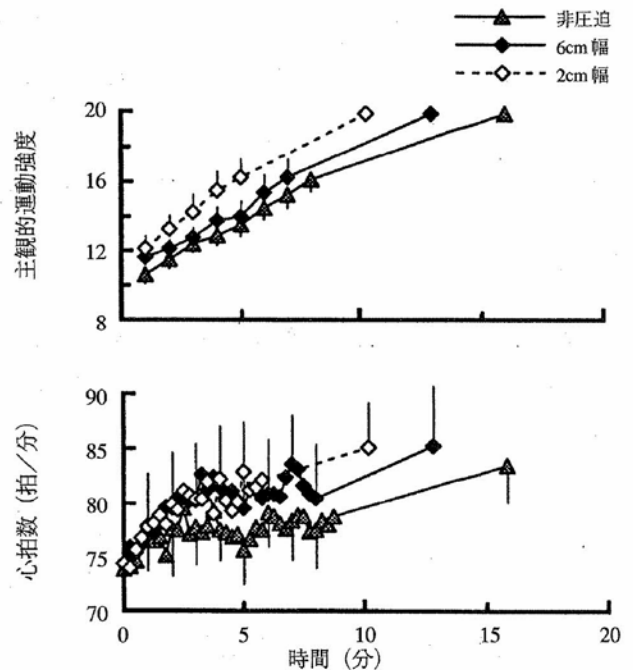


図4 指エルゴメーター運動中の主観的運動強度と心拍数に及ぼす圧迫条件の違いによる影響

充血と類似の反応が生じたと考えられる。5分目以後の皮膚血流反応は、2cm幅では6cm幅より有意に低い値を示した。これは機械的圧迫による減少と、反応性充血に類似した拡張反応による増加とのバランスにより皮膚血流量が決定されたものと考えられる。すなわち、6cm幅では血管拡張反応が、2cm幅では機械的圧迫の影響が、各々優位であったことによると思われる。

StO₂, HbT, HbO, HbDの変化は、運動時の活動筋血流量変動の指標として用いられており、50% $\dot{V}O_{2peak}$ より弱い運動では、運動強度の増加にかかわらずStO₂, HbO, HbDの値に変化がなかったことが報告されている¹¹⁾。その理由は、比較的低い強度の運動においては、運動強度の増加による筋の酸素需要量の増加に対して、活動筋での酸素抜き取りによるHbOの減少傾向およびHbDの増加傾向と、動脈血流入量の増加によるHbOの増加傾向および静脈還流量の増加によるHbDの減少傾向とが釣り合った状態にあるためである、と考察している。筋の酸素利用量は、血液からの酸素の抜き取りと血流量の積で決定されると言われている¹²⁾。しかし、本実験では肩圧迫刺激が前腕筋における酸素の抜き取りに影響しないと考えられるため、StO₂, HbT, HbO, HbDの変化は、安静時の筋血流量を反映しているものと推察される。図2では、肩紐圧迫によりStO₂とHbOは減少し、HbDは増加を示した。いずれも2cm幅の方が、6cm幅よりも変化が大であった。これらの結果から、2cm幅で筋血流量減少度が大きいことが示唆された。この為、後述のパフォーマンステストのうち、持続的な作業への影響が考えられる。

心拍数は、40分目以降6cm幅には変化がなく、2cm幅のみさらに上昇しており、この結果は図1に示した皮膚血流量の減少と連動していた。それ故、心拍数の増加は心-肺抑制反射により引き起こされたと考えられる¹³⁾。リュックサックの長

時間負荷では、短時間負荷とは異なり、血圧調節反射に差異が生じることが示唆され、今後さらに検討を要すると思われた。

指皮膚温の低下は、6cm幅より2cm幅で大きく、図1に示した皮膚血流量のレベルと一致した。

また圧迫感と背負い心地の申告は、時間経過とともに申告がきつく、心地悪い方へと変化しており、筋血流量等の変化によって影響されているものと思われた。

3. 2 実験2

おはじき取り、カウンタープレスの両測定は、最大能力を要するものではなかった為に、リュックサックを背負うことによる影響も、肩紐幅の違いによる影響も認められなかったと考えられる。しかし、これまでに皮膚圧迫が反応時間に与える影響については、圧迫による光刺激反応時間¹⁴⁾や聴覚刺激等¹⁵⁾の反応が有意に遅延するとの報告も出されている。

指トルク運動では、短時間ではあるが30秒間継続させる運動であり、5kgf・cmの負荷がかかっており、筋血流量減少の影響が2cm幅では認められたものと考えられる。

最大指トルク、最大握力では、短時間での最大力が必要とされる為、筋血流量に影響されず無酸素的な運動が行える。しかしながら、リュックサックを背負うことにより、パフォーマンス低下を生じている。とくに最大指トルクで、非圧迫よりも2cm幅が有意に低下したのは、これらの測定ではリュックサック肩紐により神経が機械的に圧迫された影響であると考えられた。

指エルゴメーター運動では、筋持久力が必要とされ、筋血流量の確保が要件とされる¹²⁾。リュックサックを背負った運動中には、筋血流による酸素供給が制限因子になると推測され、肩紐圧が強いほどパフォーマンスが低下した。

心拍数は、非圧迫よりは2種類の肩紐圧迫で時間とともに高値を示しており、この心拍数の増加

が運動継続時間を変化させた一因と考えられる。このことは舟橋らも指摘している¹⁴⁾。本研究で実施した局所作業におけるRPEは、心拍数の変化に加え、作業筋中の代謝産物の影響が加わった結果であると考えられた。

4. まとめ

長時間のリュックサック負荷を行うことにより、皮膚血流量、StO₂、HbO、皮膚温はいずれも低下し、6cm幅より2cm幅でより低値を示した。心拍数は、40分目以降2cm幅で増加した。圧迫感と背負い心地は、2cm幅でよりきつく、心地悪い方へ変化した。したがって、生理的負担度と心理的負担度は肩紐圧に比例する結果となり、短時間負荷の場合とは異なる結果が得られた。

手指の作業能においては、活動筋の血流量が不可欠となる運動でパフォーマンスが有意に低下することが判明した。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究に対し助成していただいた(財)石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、本研究を遂行するにあたり、レーザー組織血液酸素モニターを借用させていただいたオメガウェーブ(株)、および実験に快くご協力いただいた被験者の皆さんに御礼申し上げます。

文 献

- 1) 舟橋明男;リュックザック麻痺の起因に関する研究, 体力科学, 34, 11-26 (1985)
- 2) 森由紀ほか;小学生の学習用具の携行方法と負荷について, 日本家政学会第50回大会研究発表要旨集, 206 (1998)
- 3) 進英文, 箕田政人;リュックサック麻痺の1例, 災害医学, 8, 61-63 (1965)
- 4) 岡崎清二ほか;いわゆるリュックサック麻痺について, 臨床整形外科, 1, 608-614 (1966)
- 5) 坂東栄三, 舟橋明男;リュックザック麻痺について, 体育の科学, 28, 350-356 (1978)
- 6) 安田武ほか;リュックサックの改良に関する研究, デサントスポーツ科学, 1, 106-115 (1981)
- 7) 安田武ほか;リュックサックの改良に関する研究(続), デサントスポーツ科学, 2, 177-182 (1981)
- 8) 森由紀ほか;携行品運搬における背負い方式の有用性に関する研究, 日本家政学会誌, 48, No.11, 999-1009 (1997)
- 9) 吉田美奈子ほか;リュックサックの肩紐による被服圧と生理心理的応答, 日本家政学会関西支部第18回(通算74回)研究発表会講演要旨集, 21 (1996)
- 10) 市岡正道ほか;医科生理学展望, 丸善, 610-611 (1994)
- 11) 本間俊行ほか;膝伸展運動時にみられる協働筋間での酸素供給・消費バランスの相違, 体力科学, 47, 525-534 (1998)
- 12) 宮下充正, 加賀谷淳子;からだの「仕組み」のサイエンス, 杏林書院, 165-169 (1997)
- 13) Smith J.J., Kampine J.P. (訳者:松村準); Circulatory Physiology (循環の生理), 医学書院, 166-168 (1983)
- 14) 舟橋明男;リュックザックによる腕神経叢圧迫が筋持久力および反応時間に及ぼす影響, 労働科学, 54, No.7, 373-377 (1978)
- 15) Zhang P., Tokura H.; Effects of Skin Pressure by Cuff on Endurance Performance and Voluntary Reaction Time, *Jpn. J. Clo. Res.*, 38, No.2, 37-41 (1995)