

日常生活動作中の心負担度に及ぼす荷重負荷の影響

松本航汰 西濱頼我 山崎文夫

The effects of Load Carriage on Cardiac Load during Activities of Daily Living

Kouta MATSUMOTO, Raiga NISHIHAMA, Fumio YAMAZAKI

抄録

水平方向よりも鉛直方向への体重移動を伴う日常動作中に心負担度に及ぼす荷重負荷の影響がより大きいという仮説を検証するために、健常な成人を対象として4つの実験（実験1：立ち上がり動作、実験2：歩行速度（3.6、4.2、4.8 km/時）の異なるトレッドミル水平歩行、実験3：傾斜角度（0°、5°、10°）の異なるトレッドミル歩行、実験4：階段昇降）を行った。それぞれの動作中に収縮期血圧と心拍数を測定し、両者の積からダブルプロダクト（DP）を算出した。荷重負荷は、実験1、3、4では体重の10%、実験2では体重の10%、20%および40%で行った。DPは姿勢変化によって変化しなかったが、動作を通して荷重負荷によって増加した。水平歩行中のDPは速度の上昇に伴って上昇し、同一速度における値は無負荷条件に比べて10%および20%負荷中には差が見られなかったが、40%負荷中には有意に上昇した。トレッドミル歩行中のDPは傾斜角度の増加に伴って増加し、荷重負荷条件の方が無負荷条件よりも有意に高値を示した。階段上昇によりDPは増加し、階段上昇直後の値は荷重負荷条件の方が無負荷条件よりも有意に高かった。以上のことから、荷重負荷は日常生活動作中の心負担度を増加させるように作用し、その作用は水平方向よりも鉛直方向への体重移動を伴う動作においてより大きいと考えられた。

KEY WORDS: rate pressure product, load carriage, daily living activity, slope walking, ascending the stairs

1. 緒言

日常的な身体運動の実践は、高血圧、肥満の予防や心疾患患者の心臓リハビリテーションに有効であるが、血圧の上昇が大きいアイソメトリック運動(重量物の挙上やレジスタンストレーニング等)は、高血圧や心臓に疾患のある患者には過度な負荷になることがあるため、運動の種類や強度の選択には細心の注意が必要となる(池上, 1982; 池上, 1994; 日本体力医学会体力科学編集委員会, 2011)。立つ、歩く等の日常生活動作の多くは、主にアイソトニックな筋収縮によってなされるが、荷物を持ちたり担いだりしながらこれらの動作を行うと下半身の筋緊張がより高まるため、アイソメトリックな筋収縮の局面が増加し、血圧が上昇して心血管系への負担は増加すると推測される。農業、運送業、建設業等に従事している労働者においては、仕事中に5-30kg程度の重量物を運搬することがあり、これらの労働者の中には循環器系疾患を有する者もいると考えられるため、荷重負荷が日常生活動作中の心血管系反応及ぼす影響を明らかにしておく必要がある。また労作強度の指標として、一般的には全身の負担度を反映する酸素消費量や心拍数(HR)が用いられているが、心負担度という点にも着目する必要がある。なぜならば、全身運動に際して最も強い負担を負う部位の一つが心臓であると考えられるし、また致命的なスポーツ事故の多くは心臓の異常やその過負荷に起因すると考えられるためである(池上ら, 1987)。

ダブルプロダクト(DP)とは、収縮期血圧(SBP)とHRの積で表され、心負荷(心筋の酸素需要量)の指標となるものであり、心疾患患者の運動耐容能の評価およびトレーニング効果の確認やβブロッカー等の薬効の評価に用いられている(熊原ら, 2000)。黒木ら(1987)は、男子大学生を対象として普通歩行時のDPに及ぼす傾斜角度(0%、3%、6%、9%)と荷重負荷(体重の10%と20%)の影響を検討し、荷重負荷および傾斜角度の上昇に伴ってDPは増加することを報告している。黒木らの報告から、水平方向よりも鉛直方向への体重移動を伴う動作中に荷重負荷の影響が大きいことが推測されるが、DPの変化に及ぼす荷重負荷の影響を検討した研究は限定的である。この推測をより確実なものにするためには、水平方向と鉛直方向への体重移動を含む様々な日常生活動作中のDPの変化を明らかにする必要があると考えられる。

そこで本研究では、水平方向よりも鉛直方向への体重移動を伴う日常動作中に心負担度に及ぼす荷重負荷の影響がより大きいと仮説を立て、この仮説を検証するために健康成人を対象として、立つ、水平面あるいは斜面を歩く、階段の昇降という水平方向と鉛直方向の体重移動の両者を含む動作中のDPを含む心血管系パラメーターの変化を4つの実験を基に検討することにした。

2. 方法

2.1. 被験者

被験者は、呼吸循環系疾患に罹患していない健康な成人であり、喫煙習慣や日常的な運動習慣のない者たちであった。実験1、3および4では、いずれも同一の男性3名と女性3名が被験者として参加し、その平均年齢は 21 ± 0 歳、平均体重は 67.1 ± 29.9 kg、平均身長は 164.9 ± 12.2 cmであった。実験2では、男性5名と女性1名が被験者として参加し、その平均年齢(\pm SD)は 26 ± 8 歳、平均体重は 63.9 ± 6.0 kg、平均身長は 166.7 ± 8.7 cmであった。被験者には事前に実験の目的、方法や危険性等について十分に説明した後に書面によって同意を得た。実験結果は個人が特定されないようナンバー表記として鍵のかかる場所で管理を行った。

2.2. 実験プロトコール

心血管系反応に及ぼす荷重負荷の影響を、座位からの立ち上がり動作時(実験1)、速度の異なるトレッドミル水平歩行時(実験2)、傾斜角度の異なるトレッドミル歩行時(実験3)、階段上昇直後(実験4)において検討した。荷重負荷をかけるために背負子を用いた。背負子にはダンベルと重り(砂袋)を積載し、それらの重さを調節することで、実験1、実験3および実験4では体重の10%の荷重負荷をかけ、実験2では10%、20%および40%の荷重負荷をかけた。体重の10%相当の荷重負荷は、日常生活における荷物の運搬時のみならず、妊娠や肥満等に伴う体重増加により一生涯の中で経験し得る負荷である。実験2において体重の10%以上の荷重負荷をかけたのは、水平歩行では重力負荷方向(Z軸方向)への体重移動が小さく、10%以下の荷重負荷では心負担度に及ぼす有意な影響がみられないと推測されたためである(Beekley et al., 2007; 古川ら, 2007)。体重の40%負荷は21~28kgに相当し、登山や荷物の運搬等

で経験し得る重量である。すべて実験は、常温環境下（室温 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $45 \pm 5\%$ ）で行った。

(1) 立ち上がり動作 (実験 1)

被験者は 3 分間の椅座位安静後、椅子（床からの座面の高さ 42 cm）からの立ち上がり動作を繰り返し行った（図 1）。すなわち、3 秒間かけてゆっくり息を吸いながら立ち上がり、続いて 3 秒間かけてゆっくり息を吐きながら椅子に座る動作を 10 回繰り返した（計 60 秒間）。この動作を体重の 10%の重量を負荷した時（荷重負荷条件）と負荷をかけない時（無負荷条件）に、それぞれ 1 回ずつ行った。3 名の被験者が荷重負荷条件から先に行き、残りの 3 名は無負荷条件から先に行った。条件間には 10 分間の休息を挟んだ。

(2) 速度の異なるトレッドミル歩行 (実験 2)

被験者は心電図の電極、血圧測定用のカフを装着した後、椅座位安静を維持した。この際、荷重負荷条件では重りを載せた背負子を背負ったまま安静を維持した。3 分間の安静時の測定を行った後に速やかに立ち上がり、トレッドミル（ラポード LXE1200、セノー社）上で歩行運動を開始した（図 1）。歩行速度は 3.6、4.2 および 4.8 km/時とし、この順序でそれぞれ 3 分間ずつ行った。体重の 10%、20%、40%の荷重負荷および無負荷の計 4 条件について、3 名は軽い負荷から順に行き、残りの 3 名は重い負荷から減少させる順序で行った。各負荷条件での運動の間には 30 分間の休息を挟んだ。

(3) 傾斜角度の異なるトレッドミル歩行 (実験 3)

被験者は心電図の電極、血圧測定用のカフを装着した後、椅座位安静を維持した。この際、荷重負荷条件では体重の 10%の重りを載せた背負子を背負ったまま安静を維持した。3 分間の安静時の測定を行った後に速やかに立ち上がり、トレッドミル上で歩行運動を開始した（図 1）。歩行速度は 3.6 km/時で一定とし、トレッドミルの傾斜角度を 0° 、 5° 、 10° の順で上げ、それぞれ 3 分ずつ行った。この歩行運動を荷重負荷条件と無負荷条件で行った。3 名の被験者が荷重負荷条件から先に行き、残りの 3 名は無負荷条件から先に行った。条件間には 30 分間の休息を挟んだ。

(4) 階段昇降 (実験 4)

実験には大学の階段を用いた。被験者は血圧測定用のカフを装着した後、1 階の階段下フロアで立位安静時の測定を行った。この際、荷重負荷条件では体重の 10%の重りを載せた背負子を背負ったまま安静を維持した。その後、4 階まで各自の通常のペースで歩いて上り、4 階に到達する約 20 秒前からカフの加圧を開始して上昇直後 10 秒以内の立位安静時に測定を完了させた（図 1）。1 階と 4 階のフロアの高差は 13.1 m であり、その上昇には約 50 秒の時間を要した。次いで、4 階から 1 階へ階段を使用して通常のペースで降り、直ちに 2 回目の測定を 1 回目と同様の手順で行った。1 回目の 1 階フロアでの安静時の測定開始から 2 回目の階段上昇後の測定終了までの総時間は、いずれの条件においても約 5 分であった。荷重負荷条件と無負荷条件のそれぞれ

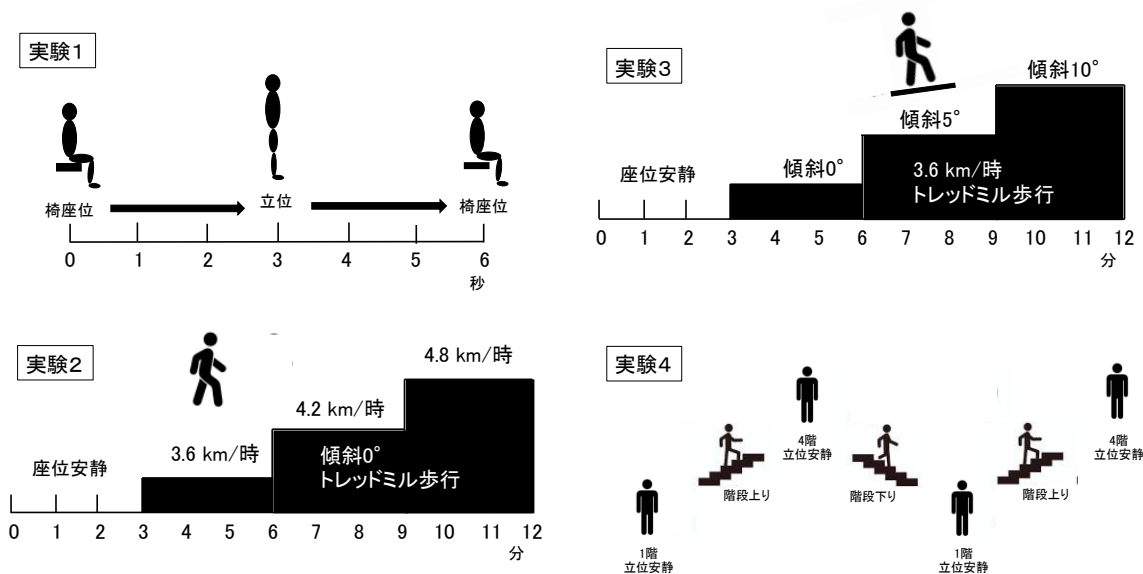


図 1 実験プロトコール

において、この階段昇降運動を2回ずつ行った。3名の被験者が荷重負荷条件から先に行い、残りの3名は無負荷条件から先に行った。条件間には10分間の休息を挟んだ。

2.3. 測定

血圧の測定のために、実験1では1拍動毎の血圧を測定するためにボリュウムクランプ法 (Bogert and van Lieshout, 2005) を用いた連続血圧測定装置 (Finometer Model2, FMS社) を用いた。実験2と3ではR-Wave Gating法 (山口, 2010) とDKA (次元コトコフ解析) のアルゴリズムが組み込まれた運動負荷血圧計 (Tango M2, SunTech Medical社) を使用し、1分毎にSBP、拡張期血圧 (DBP) およびHRを計測した。実験4ではオシロメトリック法 (山口, 2010) による自動血圧計 (HEM7430, オムロン社) を使用した。HRは、前述した血圧計を用いて血圧と同時に測定した。SBPとHRの積からDPを算出した。DPは、心筋の酸素摂取量や冠動脈血流量と直線関係を示し、心臓の仕事量の指標として用いられている (カッチラ, 2017)。

2.4. データ解析

実験1において、1拍動毎に測定されたSBP、DBPおよびHRの値をそれぞれ1秒毎に平均した。測定開始直後の座位から立位への姿勢の変化に伴ってベースラインのHRは上昇し、測定開始の約15秒後に安定する傾向を示したため、60秒間の測定値の18秒から60秒まで (42秒間) のデータを解析に用いた。座位から立位への3秒間と立位から座位への3秒間を合わせた6秒間を1周期とし、7周期分のデータを重ね合わせて平均化した。実験2において、各歩行速度での歩行時の3分間の血圧とHRのデータは後半の2分間のデータを平均した。同様に実験3において、各傾斜角度での歩行時の3分間の血圧とHRのデータは後半の2分間のデータを平均した。実験4において、立位安静から階段上昇による変化量に1回目と2回目とで差がみられたため、それぞれを平均せずに時系列データとして分析を行った。

2.5. 統計処理

全てのデータは平均値 \pm 標準偏差 (SD) で示した。各パラメーターに及ぼす荷重負荷 (実験1~4) と各実験における姿勢変化 (実験1)、歩行速度 (実験2)、傾斜角度 (実験3)、階段上昇 (実験4) のそれ

ぞれの因子の影響を解析するために、繰り返しのある2要因分散分析 (ANOVA) を行った。4因子 (姿勢変化、歩行速度、傾斜角度、階段上昇) の効果が有意であった場合、post hoc testとしてBonferroni法を用いた。交互作用が有意であった場合、荷重負荷条件と無負荷条件との間の平均値の差の検定にはPaired *t*-testを用いた。交互作用が有意でなかった場合には各条件のデータをまとめて分析を行った。有意水準5%未満 ($P < 0.05$) を統計的に有意と判定した。

3. 結果

3.1. 立ち上がり動作時の心血管反応 (実験1)

立ち上がり動作前安静時のSBP、DBPおよびHRはいずれも荷重負荷条件間で差がなく、2条件の値を平均するとそれぞれ 139 ± 17 mmHg、 90 ± 10 mmHg および 87 ± 20 拍/分であった。図2に、無負荷時と10%負荷時の立ち上がり動作に伴う血圧、HRおよびDPの変化を示した。SBPとDBPは、いずれも座位から立位へ姿勢変化により上昇し、立位から座位への姿勢変化で低下した ($P < 0.05$)。姿勢変化中のSBPとDBPは、いずれのパラメーターにおいても姿勢変化と荷重負荷の因子間に交互作用はなく ($P > 0.96$)、荷重負荷によりいずれも有意に上方移動した (荷重因子, $P < 0.05$)。立ち上がり動作中のHRは、姿勢変化および荷重負荷によって有意に変化しなかった。DPは、姿勢変化に伴って有意に変化しなかったが、荷重負荷により有意に増加した (荷重因子, $P < 0.05$; 交互作用なし, $P = 0.98$)。

3.2. 歩行時の心血管反応に及ぼす歩行速度と荷重負荷の影響 (実験2)

歩行前安静時のSBP、DBPおよびHRはいずれも荷重負荷条件間で差がなく、すべての条件の値を平均するとそれぞれ 129 ± 16 mmHg、 83 ± 18 mmHg および 72 ± 13 拍/分であった。図3に、トレッドミル歩行時の速度の上昇に伴う血圧、HRおよびDPの変化を荷重負荷条件別に示した。歩行時のSBPは、速度の上昇に伴って上昇したが ($P < 0.01$)、DBPは速度に影響されなかった ($P = 0.91$)。SBPとDBPは荷重負荷によって上昇し (荷重因子, $P < 0.01$)、SBPでは20%負荷および40%負荷条件において、DBPで

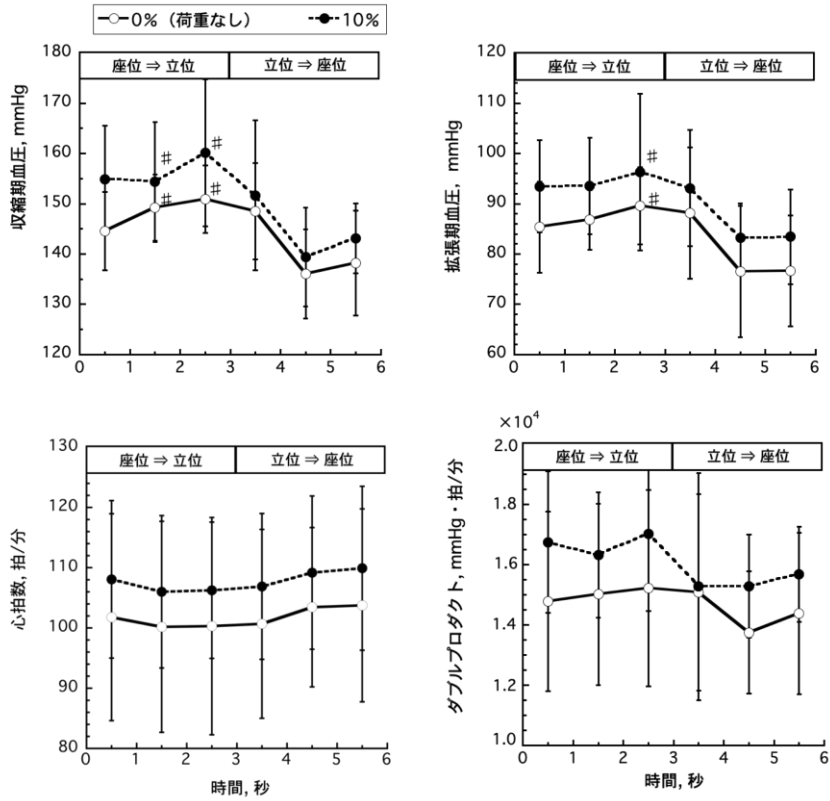


図2 立ち上がり動作時の血圧、心拍数およびダブルプロダクトの変化に及ぼす荷重負荷（体重の10%の荷重）の影響
$P < 0.05$ vs 4.5 秒値

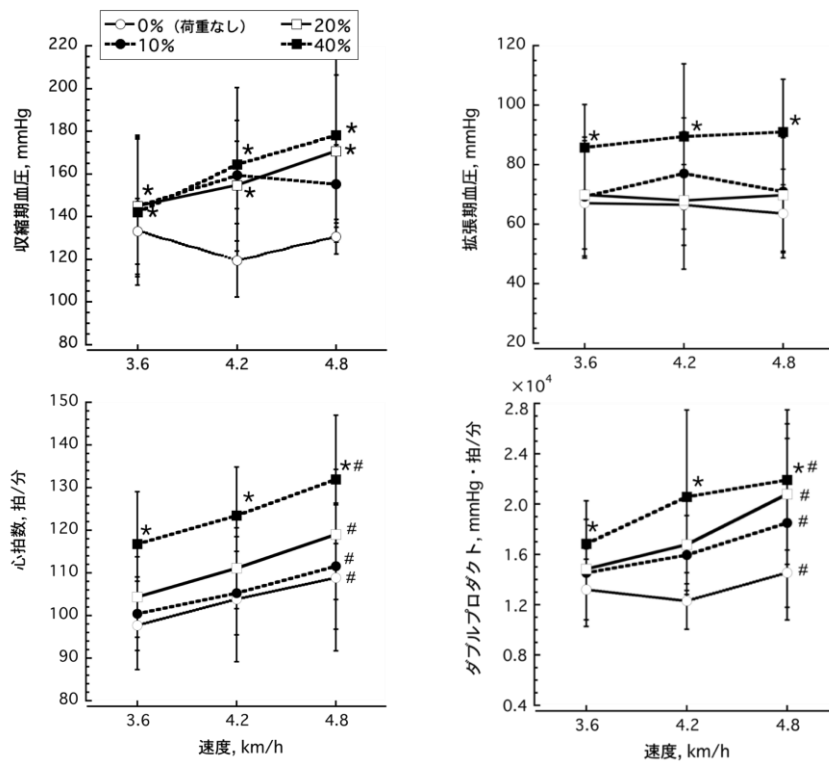


図3 トレッドミル歩行時の速度の上昇に伴う血圧、心拍数およびダブルプロダクトの変化に及ぼす荷重負荷（体重の10~40%の荷重）の影響
* $P < 0.05$ vs 0%, # $P < 0.05$ vs 3.6 km/h

は40%負荷条件において、それぞれ無負荷条件と比べて有意に高値を示した ($P < 0.05$)。歩行中のSBPとDBPは、いずれのパラメーターにおいても速度と荷重負荷の因子間に交互作用はみられなかった ($P > 0.66$)。HRは、速度の上昇に比例して増加し、いずれの負荷条件においても4.8 km/時歩行中のHRは3.6 km/時歩行中のそれに比べて有意に高かった ($P < 0.01$)。速度とHRの関係は、荷重負荷の増加に伴って有意に上方移動した (荷重因子, $P < 0.001$; 速度と荷重負荷の因子間に交互作用なし, $P = 1.00$)。DPは、速度の上昇により有意に増加し、4.8 km/時と3.6 km/時の条件間に差がみられた ($P < 0.05$)。DPは、荷重負荷の増加によって有意に増加し (荷重因子, $P < 0.001$)、40%負荷条件におけるDPは無負荷条件のそれに比べて大きな値 ($P < 0.001$)を示した (速度と荷重負荷の因子間に交互作用なし, $P = 0.84$)。

3.3. 歩行時の心血管反応に及ぼす傾斜角度と荷重負荷の影響 (実験3)

歩行前安静時のSBP、DBPおよびHRはいずれも荷重負荷条件間で差がなく、2条件の値を平均するとそれぞれ 120 ± 7 mmHg、 83 ± 7 mmHg および 84

± 12 拍/分であった。図4に、トレッドミル歩行時の傾斜角度の上昇に伴う血圧、HRおよびDPの変化を荷重負荷条件別に示した。歩行時の傾斜角度の上昇に伴って、SBP、HRおよびDPは増加し ($P < 0.01$)、DBPは減少した ($P < 0.05$)。いずれの傾斜角度においても、血圧とHRは負荷条件間で差がみられなかった。一方、傾斜歩行時のDPは荷重負荷によって増加した (荷重因子, $P < 0.05$)。いずれのパラメーターにおいても傾斜角度と荷重負荷の因子間に交互作用はみられなかった ($P > 0.48$)。

3.4. 階段昇降時の心血管反応 (実験4)

図5に、階段上昇に伴う血圧、HRおよびDPの変化を荷重負荷別に示した。SBP、HRおよびDPは、階段上昇に伴って増加したが ($P < 0.01$)、DBPはその動作に影響されなかった。SBP、DBPおよびHRは荷重負荷によって影響されなかったが、DPは荷重負荷によって有意に増加した (荷重因子, $P < 0.05$)。いずれのパラメーターにおいても本プロトコールにおける時間因子と荷重負荷因子間に交互作用はみられなかった ($P > 0.66$)。

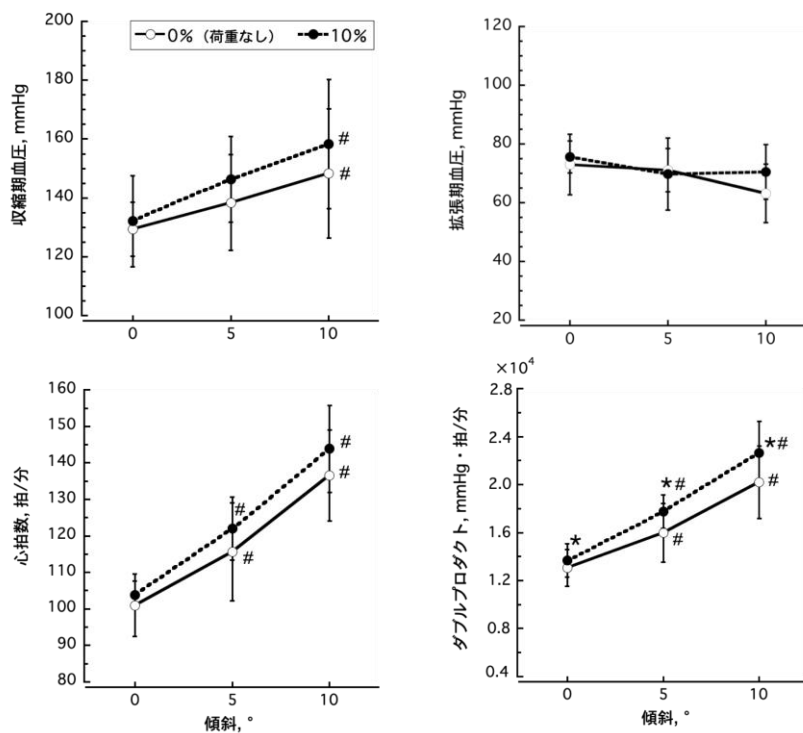


図4 トレッドミル歩行時の傾斜角度の上昇に伴う血圧、心拍数およびダブルプロダクトの変化に及ぼす荷重負荷(体重の10%の荷重)の影響
* $P < 0.05$ vs 0%, # $P < 0.05$ vs 0°

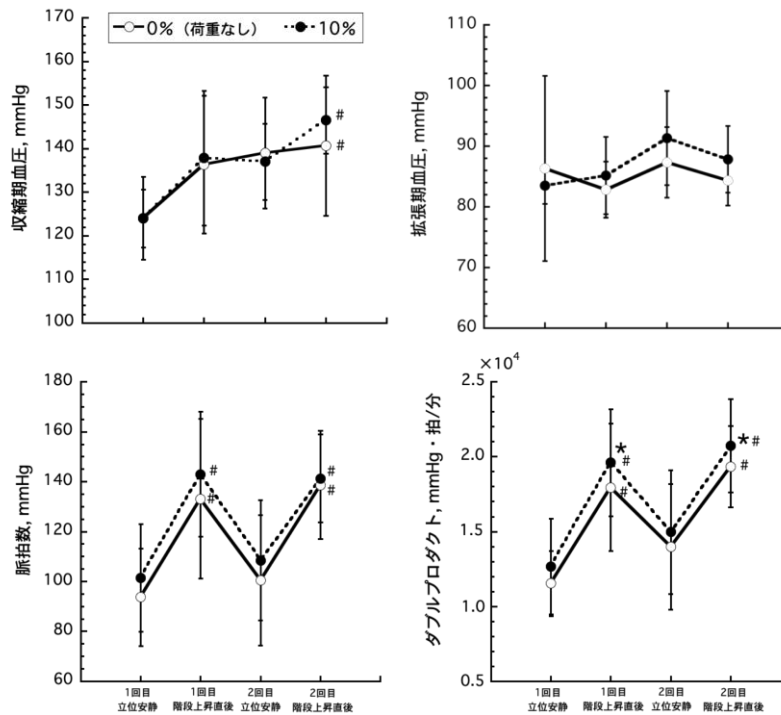


図5 階段上昇に伴う血圧、心拍数およびダブルプロダクトの変化に及ぼす荷重負荷(体重の10%の荷重)の影響
 * $P < 0.05$ vs 0%, # $P < 0.05$ vs 1回目立位安静

4. 考察

4.1. 立ち上がり動作時の心血管反応と荷重負荷(実験1)

DPは姿勢変化に伴う変動は見られなかったが、10%荷重負荷により動作を通して上方移動した。他方、SBPとDBPは姿勢変化と荷重負荷のいずれにおいても統計的に有意な変化が認められた。起立負荷時には血圧の低下を防止するため、交感神経性に末梢血管の収縮とHRの増加が起こる(Rowell, 1986)。SBPとDBPの座位から立位への移行時における上昇は、HRに変化が見られなかったことから、末梢血管収縮に伴う血管抵抗の増加によると推測される。

本研究では座位から立位への移行時(3秒間)に吸息を行い、立位から座位への移行時(3秒間)に呼息を行った。安静時の血圧とHRは呼吸に伴って変動する(曾根ら, 1992)。すなわち、6秒周期の呼吸中、SBPは吸気相で低下し、呼気相で上昇するが、HRは吸気相で増加し、呼気相で減少することが報告されている(曾根ら, 1992)。本研究ではSBPは吸気相(座位から立位の姿勢変化時)において上昇し、呼気相(立位から座位の姿勢変化時)に低下しており、HR

は呼気相、吸気相のいずれにおいても有意な変動は見られなかった(図2)。したがって、実験1の条件下での姿勢変化に伴うSBPとHRの応答を呼吸運動で説明することはできない。座位から立位の移行時には脚の筋収縮による下肢の組織圧上昇と交感神経性血管収縮による血圧上昇作用が吸気に伴う血圧低下作用より大きかった結果、SBPは座位から立位で上昇し、反対に立位から座位で下降したと考えられる。立ち上がり動作時のHRは、前述した吸気に伴う増加作用、血圧反射による減少作用、上位中枢からの指令による増加作用が同時に生じたことで、結果的に有意に変動しなかったと推測される。立ち上がり動作時のSBPの上昇とHRの低下傾向により、両者の積であるDPに有意な変化がみられなかったと考えられる。荷重負荷時には、下肢筋の緊張に伴う血管内圧の上昇と上位中枢からの指令による交感神経活動の増大が無負荷時よりも強く生じてSBPが上昇し、DPが上方移動したと考えられる。

4.2. 歩行時の心血管反応に及ぼす歩行速度と荷重負荷の影響(実験2)

DPは歩行速度と荷重負荷のいずれの増加によっ

ても増加した (図3)。歩行時のHRは、速度の上昇に伴って上昇した。他方、SBPは速度に影響されなかったため、DPの速度依存性増加はHRの増加によるものである。Beekley et al. (2007) は健康な男性軍人を対象とした実験において、6km/時でのトレッドミル歩行時のHRが荷重負荷 (除脂肪体重の30~70%の負荷) の増加に伴って上昇することを報告している。萩原ら (2011) は、歩行速度 (30~80m/分) と荷重負荷 (体重の0~50%) の増加に伴いHRが上昇することを示している。本研究のHRについての所見は、これらの先行研究の結果と軌を一にするものである。また、いずれの速度の水平歩行中においても、HRとDPが20%負荷条件までは無負荷条件と比べて差がみられなかったことは、先行研究の結果と一致した (黒木ら, 1987)。他方、本研究ではDPと血圧 (SBPとDBP) が40%負荷条件において無負荷条件よりも高値を示すことを初めて示した。水平方向への体重移動を伴う場合でも、体重の20%を超える荷物の運搬時には、DPに荷重負荷の影響が生じると考えられる。傾斜の無いトレッドミル歩行では、脚や腕を前後に動かすための運動エネルギーを必要とするものの重力方向 (+Gz 軸方向) への位置エネルギーの変動は小さいため、40%負荷をかけるまで有意な昇圧反応を示さなかったと考えられる。

4.3. 歩行時の心血管反応に及ぼす傾斜角度と荷重負荷の影響 (実験3)

トレッドミル歩行時の傾斜角度の上昇に伴って、SBP、HRおよびDPは増加し、DBPは減少した (図4)。HRの傾斜角度に依存した変化は、先行研究 (山本, 2003; 黒木ら, 1987) の結果と一致した。DBPが減少した原因として、運動の持続に伴って体温が上昇して皮膚血管が拡張し、末梢血管抵抗が低下したためであると考えられる (山崎ら, 1993)。DPは荷重負荷条件の方が無負荷条件よりも高値を示した。実験2の水平歩行中のDPは、10%の荷重負荷条件と無負荷条件で有意な差がなかったことを考慮すると、この差は、5°と10°の傾斜歩行時の荷重負荷の影響を反映していると考えられる。黒木ら (1987) は、無負荷条件、体重の10%と20%の荷重負荷条件での4km/時トレッドミル歩行 (傾斜0%、3%、6%、9%) 中の酸素摂取量、HRおよび血圧の測定を行った。その結果、10%負荷歩行時には傾斜角度の上昇に伴ってDPは変化しなかったが、20%負荷時には6% (3.4°) 以上の傾斜角度の上昇によりDPに有意な影響を及

ぼすことを報告している。本研究において10%負荷条件でもDPに傾斜角度の影響がみられたのは傾斜角度の大きさ、歩行時間、歩行速度、荷重負荷のかけ方 (背負子とリュックサック) 等の実験方法の違いによると推測される。いずれにしても荷重負荷をかけた上り坂歩行時にはわずかな傾斜であっても心負荷が増加すると考えられる。

4.4. 階段昇降時の心血管反応と荷重負荷 (実験4)

階段昇降時のDPは、荷重負荷条件の方が無負荷条件より高値を示した (図5)。これは、階段昇降を継続して行うことによって上昇直後の心負担度が増加し、荷重負荷時にはその影響がより増大することを示唆している。階段上昇時は身体への鉛直方向への作用が水平歩行時より大きく、より強い重力負荷 (+Gz) が下肢にかかることから、下肢の血管が圧迫されて血圧を上昇させるように作用するとともにHRが上昇して、DPを増加させたと考えられる。

4.5. 研究結果を解釈する上での制限と研究の展望

結果を解釈する上での制限として、第1に、水平方向より垂直方向への体重移動を伴う動作時の方がDPに対する荷重負荷の影響が大きいという仮説を検証したが、4つの実験条件内の検討であったことが挙げられる。起床、掃除、排泄、入浴等の実際的な日常生活動作時の心臓循環器系へ加重の効果についても明らかにしていく必要があるだろう。第2に、実験間で被験者の男女比が異なった点が挙げられる。一般に女性は男性よりも筋肉量が少なく筋力が低いいため、体重1kg当たりで同一の荷重負荷をかけた際の心負担度への影響が男性よりも大きい可能性がある。本研究において男性と女性の被験者間でDP応答に明確な違いは認められなかったが、荷重負荷時の心負担度に性差があるか否かについては男女の被験者数をそれぞれ増やしてさらに検討することが望ましい。第3に、実験4では階段上昇直後の安静時に測定を行ったため、階段上昇や荷重負荷の影響を過小評価した可能性が考えられる。しかし階段上昇直後の測定時点は、いずれの条件でもほぼ同じであったため、DP応答の違いは荷重負荷の影響を反映するものであると考えられる。

いくつかの制限はあるものの本研究の結果から荷重負荷によってDPは増加することが示された。下肢筋への+Gz軸方向への負荷がより強くかかる動作 (すなわち立ち上がり、上り坂歩行、階段上昇) で

は、体重の10%の荷重であってもDPに有意な変化が見られた。また、+Gz軸方向の荷重が少ない水平方向の移動においても、より荷重荷重が大きい場合はDPを高めることにつながることを示唆された。これらのことから、日常での基本的な動作における荷重の身体的影響は小さくなく、荷物の運搬時や肥満、妊娠に伴う体重の増加時には心負担度は増大すると推測される。高血圧等の循環器系疾患を有する患者においては特に荷重荷重が過大にならないよう配慮する必要があると考えられる。

5. 結論 (まとめ)

荷重荷重は日常生活動作中の心負担度を増加させるように作用し、その作用は水平方向よりも鉛直方向への体重移動を伴う動作においてより大きいと考えられる。

謝辞

本研究に参加していただきました被験者の方々と、測定協力していただきました野中優氏と三好伸明氏に心より感謝いたします。

引用文献

- Beekley MD, Alt J, Buckley CM, Duffey M (2007) Effects of heavy load carriage during constant-speed, simulated, road marching. *Military Medicine*, 172 (6), 592-595.
- Bogert LW, van Lieshout JJ (2005) Non-invasive pulsatile arterial pressure and stroke volume changes from the human finger. *Experimental Physiology*, 90 (4), 437-446.
- 古川順光, 大森圭, 宮下智, 内田勝雄, 丹羽健市 (2007) 上方牽引による免荷歩行時の呼吸循環応答. *体力科学*, 56 (3), 339-346.
- 萩原正大, 山本正嘉 (2011) 歩行路の傾斜, 歩行速度, および担荷重量との関連からみた登山時の生理的負担度の体系的評価 -トレッドミルでのシミュレーション歩行による検討-. *体力科学*, 60 (3), 327-341.
- 池上晴夫 (1982) 運動処方 理論と実際. 朝倉書店.
- 池上晴夫 (1994) スポーツ医学 I -病気と運動-. 朝倉書店.

池上晴夫, 松田光生, 松本光弘 (1987) 運動処方の新しいクライテリアとしてのダブルプロダクト自動測定法の開発と応用. *デサントスポーツ科学*, 8, 65-74.

カッチ V, マッカードル W, カッチ F (2017) カラー運動生理学大事典: 健康・スポーツ現場で役立つ理論と応用. 田中喜代次, 西平賀昭, 征矢英昭, 大森肇 監訳, 西村書店東京出版編集部, 東京, 279-282.

熊原秀晃, 清水明, 田中宏暁 (2000) ダブルプロダクト, *日本臨床*, 58 (5), 141-145.

黒木裕士, 森永敏博, 鈴木康三, 角南昌三, 高塩純一 (1987) 体幹重量荷重歩行と傾斜歩行の酸素摂取量, 心拍数ならびにダブルプロダクトに及ぼす影響. *京都大学医療技術短期大学部紀要*, 7, 14-22.

日本体力医学会体力科学編集委員会 (2011) 心疾患患者の運動処方. 運動処方の指針. 運動負荷試験と運動プログラム. (原著第8版), 南江堂, 214-231.

Rowell LB (1986) Adjustments to Upright Posture and Blood Loss. *In: Human Circulation. Regulation during Physical Stress*. New York, Oxford University Press, 137-173.

曾根涼子, 福岡義之, 山崎文夫, 本間幸子, 池上晴夫 (1992) 呼吸周期と心周期の呼吸性変動との関係 -血圧の呼吸性変動の影響-. *体力科学*, 41, 330-336.

山口隆洋 (2010) 体動・ノイズ環境下での血圧測定. *医療機器学*, 80 (6), 647-658.

山本忠志 (2003) 傾斜角度の異なる歩行運動における呼吸・循環機能変化について. *兵庫教育大学研究紀要*, 23, 67-70.

山崎文夫, 権五晟, 曾根涼子, 鍋倉賢治, 池上晴夫 (1993) 運動中の体温調節反応と心周期分画の変動との関係. *体育学研究*, 37 (4), 351-364.

(2022年7月19日受理)