支持基底面積を基準とした有効支持基底面積の割合の検証 ：男性高齢者と男子大学生の比較

○杉浦宏季（福井工業大学）

キーワード：バランス能力，LOS，BOS，COP

目　的

各バランステストに共通することは，身体の質量中心の鉛直方向の投影点とほぼ一致する足圧中心位置（COP）を支持基底面（BOS）内に保持し続けることである．しかし，COP を BOS の外周まで移動させることはできず，実際はその内側に存在する有効支持基底面（LOS）の外周までしか移動できない．多くのバランステストでは LOS に関連する値（面積や距離等）に着目されているが，LOS の値が同じであっても BOS の値が異なればバランス能力の評価も異なると考える．また，足幅間隔を拡大することで姿勢の安定性は高まるが，この戦略により BOS に対する LOS の割合（LPB：BOS per LOS）がどの程度変化するかは不明である．

バランス能力の新たな評価方法を提案するため，本研究では高齢者および若年者における LPB を算出し，それらの日間信頼性，ならびに世代間差および足幅条件間差を検証することを目的とした．

方　法

男性高齢者 10 名（65.8±5.6 歳）および男子大学・大学院生 11 名（22.7±3.8 歳）を被験者とした．高齢者の体力水準は高かった（文科省 ADL：34.3±2.5 点）．

BOS の測定には BodiTrak（Vista Medical）を使用した．被験者には機器の中心に立ってもらい，各足幅条件における足裏面積およびその間の面積を測定し，総面積（BOS）を算出した．LOS の測定には重心軌跡測定器（竹井機器工業）を使用した．被験者には両足裏を浮かすことなく，前方から 4 周円を描くように COP を移動してもらい，外周面積（LOS）を算出した．両テストにおける足幅は 0 cm および 10 cm の 2 条件とし，測定順はランダムとした．測定は 3 日間実施した．

日間信頼性は級内相関係数（ICC）により評価した．差の検定には二要因分散分析（世代×足幅）を利用した．本研究における統計的有意水準は 5%に設定した．

結　果

世代および足幅別の測定値の ICC は中程度以上（0.73―0.85）であった．3 日間の平均値を算出した結果，高齢者の LPB は足幅 0 cm が 33.5±7.5%，足幅 10 cm が 36.6±8.7%，若年者の LPB は足幅 0 cm が 42.0±6.0%，足幅 10 cm が 46.8±5.6%であった．両世代とも LPB は 10 cm 条件が 0 cm 条件よりも有意に大きく，両足幅条件とも LPB は高齢者が若年者よりも有意に小さかった．

考　察

日間信頼性は中程度以上であること，高齢者の LOS は BOS の 40%未満であり若年者よりも劣ること，足幅拡大により LPB は大きくなることが明らかにされた．

外周面積は軌跡の最も外側の位置が採用されるため，試行内における 4 回の回旋により外周面積は個々の能力の最大値に近似したと解釈される．回旋数が少なかった場合，測定値の信頼性は低かったかもしれない．

Holbein-Jenny（2007）は，多方向 FR テストを実施し，60 歳代における各方向の距離は中心から BOS の縁までの 43.8―61.4%，20 歳代においては BOS の 58.8―75.5%と報告している．評価変数は本研究と異なるものの，移動できた割合は本研究の方が小さい．先行研究で実施された方法は，肩関節の戦略により能力以上の値になることがある．本研究で用いた方法は先行研究よりも妥当性が高いかもしれない．

また，足幅拡大に伴い BOS および LOS は大きくなり姿勢の安定性は高まるが，それに加え LPB も大きくなった．つまり，足幅拡大は姿勢保持において重要であることが再確認され，LPB の測定時には足幅を統制する必要があることが明らかとなった．

引用参考文献

Holbein-Jenny et al. (2007) Validity of functional stability limits as a measure of balance in adults aged 23-73 years. Ergonomics, 50(5): 631-646.

中学校体育における ICT の活用方法に関する事例研究
－マット運動における Jam Board を使用した試技画像分析に着目して－

〇玉腰和典（富山大学），佐伯聡史（富山大学），福島洋樹（富山大学），神野賢治（富山大学），
松田匠（富山大学教育学部附属中学校），鵜飼雅信（富山大学教育学部附属中学校），
横谷悠斗（富山大学大学院教職実践開発研究科）

キーワード：中学校体育，ICT，Jam Board，試技画像分析，事例研究

目　的

学習指導要領がもとめる主体的・対話的で深い学びや個別最適化を実現する上で、ICT の活用が重要視されている。保健体育科でも、現行学習指導要領保健体育科編で「コンピュータや情報通信ネットワークなどの情報手段を積極的に活用して、各分野の特質に応じた学習活動を行うよう工夫すること」（p.130）が記載され、ICT の活用事例が様々に報告されている。Jam Board は、web 上でホワイトボードを共同利用するものであり、描画作成機能をもつ。利点としては、意見の追加・修正が容易、協同作業が容易、多様な意見を交流できる、参加により興味・関心が向上することがあげられる（大野，2022）。体育授業でも、Jam Board の実践事例は様々に報告されている。しかし、これらの多くは、活用方法の提案にとどまり、学習者のデータからその成果と課題を検証していない。インタビューから有効性を検討した久保・松本（2023）の研究も、気づきの相互交流に焦点化したものであり、まだ十分な研究がなされていない。そこで、本研究においては、中学校体育における Jam Board を使用した生徒の試技画像分析による課題記述内容を分析して、学習指導方法の成果と課題を事例的に解明することを目的とした。

方　法

分析対象は、2023 年 5 月から 7 月までの期間、A 中学校 1 年生 37 名（欠席者除外）で実践されたマット運動（全 14 時間）において、第 8 時の Jam Board を活用した生徒の（補助）倒立前転の試技画像分析の課題記述内容とする。分析手順として、まず、Jam Board に提示されている見本画像と生徒の試技画像を分析し、技術ポイントを検討した。結果、「身体の前方への送りだし」「回転運動における順次接触」「身体のしめ」の技術ポイントと、その具体的な技術ポイント 8 項目に整理した。次に、技術ポイントとチェック表を記載した課題分析シートを作成し、課題分析シートにもとづき生徒と観察者の課題分析結果を整理し、比較した。これらの作業は、保健体育科教育学を専門とする大学教員 1 名、スポーツ運動学を専門とする大学教員 1 名、教職大学院に所属する大学院生 1 名の 3 名で実施した。

結　果

生徒の試技画像の課題分析結果（95）を基準とし、観察者の課題分析結果（74）と一致したものは 76%となった。生徒・観察者の課題分析結果総数において、一致率 50%以上となったのは、「膝が伸展していない」（70%）「足首やつま先が伸展していない」（59%）「肘が伸展していない」（53%）で、20%以下は「身体が頭よりも前方に送られていない／送られすぎている」（17%）「後頭部で接地していない／肩が地面から 60～70 度に屈曲していない」（17%）となった。

考　察

約 80%の生徒が観察者の分析結果と一致したことは、多くの生徒が見本画像と試技画像の比較から自己に応じた適切な課題を発見できていたと言える。また、肘、膝の屈曲／伸展の課題が記述できていることから、扇型図形や線と丸印で棒人間を作成する作業や見本動画との比較によって、運動の形や角度に着目させる学習指導の効果が示唆される。一方で、約 20%の生徒が適切な課題を分析できなかった理由として、画像から前後の位置関係の分析が困難であったり、観察部位が密集していたりと分析上の問題があったと考えられる。

引用参考文献

大野好司（2022）「教職概論」における受講生の『ICT 活用能力』の向上：Google Jamboard の活用による効果的な対面授業の在り方．尚美学園大学スポーツマネジメント研究紀要, 5: 11-21.

久保明広・松本大輔（2023）体育授業における「納得解」の形成に関する考察－一人一台端末を活用した授業づくり－．西九州大学子ども学部紀要, 14: 30-36.

温熱刺激が骨格筋のミトコンドリア呼吸機能と
ミトコンドリア内在型ミオグロビンに及ぼす影響

○小間陸嗣，松本龍樹，日光泰斗，芝口翼，山崎綾夏，増田和実（金沢大学）

キーワード：ミトコンドリア，ミオグロビン，温熱刺激，Oxygraph-2k

目　的

ミトコンドリア (Mito) は酸素を消費してアデノシン三リン酸の再合成を担うエネルギー代謝の要である。骨格筋 Mito の量と呼吸機能の低下は、運動能力の悪化や 2 型糖尿病などの代謝疾患を引き起こす一因として考えられている。このことから、骨格筋 Mito の量と呼吸機能の両方を高めることが健康の保持増進に重要である。近年、温熱刺激が骨格筋の Mito 量を増やす可能性が示唆されている (Marchant et al., 2023)。しかしながら、温熱刺激が骨格筋の Mito 呼吸機能に及ぼす影響とその分子機序は不明であり、温熱刺激が科学的根拠に基づいた健康増進方法となり得るかは定かではない。

骨格筋にはミオグロビン（Mb）と呼ばれる酸素結合タンパク質が存在する。Mb は長らく筋細胞質の単なる酸素貯蔵体と考えられてきたが、我々は Mb を過剰発現させた骨格筋細胞の Mito 呼吸機能が向上することを発見した（Yamada et al., 2016)。さらに、我々は細胞質にのみ局在すると考えられてきた Mb が Mito 内部にも存在することを見出した（Koma et al., 2021)。これらの知見は、Mito 内在型 Mb の多寡が Mito 呼吸機能を制御し得ることを示唆する。そこで我々は、もし温熱刺激によって骨格筋の Mito 呼吸機能が高まるのであれば、その背景に Mito 内在型 Mb の増加が関与しているのではないかとの仮説を立てた。本研究では、温熱刺激による骨格筋の Mito 呼吸機能および Mito 内在型 Mb 量の変化を検証した。

方　法

C57BL/6JJ マウス（♂, 21 週齢）に暑熱環境曝露（39 ± 1°C, 30 分/日, 週 5 日）を 3 週間行った後、後肢下腿三頭筋を摘出して各種分析に用いた。単離 Mito の呼吸機能は Oxygraph-2k（Oroboros Instruments, Austria）を用いて評価した。クエン酸合成酵素（CS）活性は Spinazzi et al.（2012）の方法に準じて測定した。Mito 画分における Mb の検出にはウェスタンブロッティング法を用いた。統計解析には対応のない t 検定またはマンホイットニーの U 検定を用いた。

結　果

温熱刺激によって単離 Mito の complex II および complex IV を介した酸素消費速度が有意に上昇した（図 1A-B; $p < 0.05$）。しかしながら、温熱刺激によって骨格筋の Mito 量（CS 活性）および Mito 画分の Mb 発現量は変化しなかった（図 1C-D）。

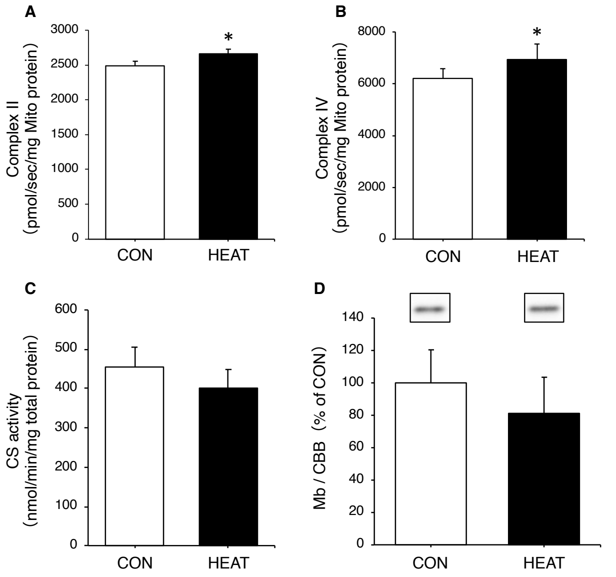

図 1. 温熱刺激が骨格筋の Mito 呼吸機能および Mito 量、Mito 内在型 Mb 量に及ぼす影響
平均値 ± 標準偏差, n = 6/群, *: $p < 0.05$ vs CON
CON: 対照群, HEAT: 温熱刺激群

考　察

本研究の温熱刺激によって骨格筋の Mito 呼吸機能は高まることが示された。しかしながら、温熱刺激によって骨格筋の Mito 量や Mito 内在型 Mb 量は変化しなかった。以上のことから、3 週間の温熱刺激は骨格筋の Mito 呼吸機能を高めるものの、その分子機序に Mito 内在型 Mb は関与しない可能性が示唆された。

引用参考文献

Koma et al. (2021) Physiol. Rep. 9: e14769.
Marchant et al. (2023) Int. J. Hyperthermia 40: 2205066.
Spinazzi et al. (2012) Nat. Protoc. 7: 1235-1246.
Yamada et al. (2016) J. Physiol. 594: 483-495.

異なる筋種から単離したミトコンドリアの呼吸機能とプロファイルの違い

〇日光泰斗，小間陸嗣，山崎綾夏，松本龍樹，芝口翼，増田和実（金沢大学）

キーワード：遅筋線維，速筋線維，呼吸鎖複合体，Oxygraph-2k

目　的

骨格筋のミトコンドリア（Mito）は酸素を用いて糖質と脂質からATPを合成する細胞小器官であり、遅筋線維優位な筋に多く含まれている。遅筋線維優位な筋は速筋線維優位な筋と比べて酸化的リン酸化によるATP合成能が優れているものの、この合成能の違いが筋に含まれるMitoの量あるいはMitoの質（Mitoひとつあたりの呼吸機能）のどちらに起因するかは明らかになっていない。哺乳類動物における遅筋線維優位な骨格筋および速筋線維優位な骨格筋のそれぞれからMitoを単離し、Mito呼吸機能を比較した研究がいくつか報告されているが、一致した結果は得られていない（Mogensen et al., 2005; Glancy et al., 2011; Jackman et al., 1996）。また、筋種間で単離Mitoの呼吸機能に違いがあると報告した研究においても、その違いを生む分子メカニズムについては明らかにされていない。そこで本研究では、筋線維組成の異なる4つの筋からMitoを単離してそれぞれのMito呼吸機能（J_{O2}）を比較した。また、その違いを生み出す要因を明らかにするために呼吸鎖複合体の発現量を比較した。

方　法

Wistar系雄性ラット（15週齢）のヒラメ筋（Sol）、足底筋（PL）、腓腹筋（表層部：GasSと深層部：GasDに分離）を摘出した。遅筋線維構成割合はSol > GasD > PL > GasSの順である（Armstrong et al., 1984）。単離MitoのJ_{O2}はOxygraph-2k（Oroboros Instruments, Austria）を用いて評価した。Mito画分における呼吸鎖複合体の検出にはウェスタンブロッティング法を用いた。

結　果

複合体I、II、IVの各発現量はSolがGasSと比べて有意に高値を示した（図1; $p < 0.05$）。複合体Iを介したJ_{O2}はGasDおよびPL、GasSでSolと比べて有意に高値を示し、また、GasDの値はGasSの値よりも有意に高かった。GasDの複合体IIを介したJ_{O2}はSolおよびPL、GasSと比べて有意に高値を示し、また、PLの値はGasSの値よりも有意に高かった。複合体IVを介したJ_{O2}はGasDおよびPLでGasSと比べて有意に高値を示した（図2; $p < 0.05$）。

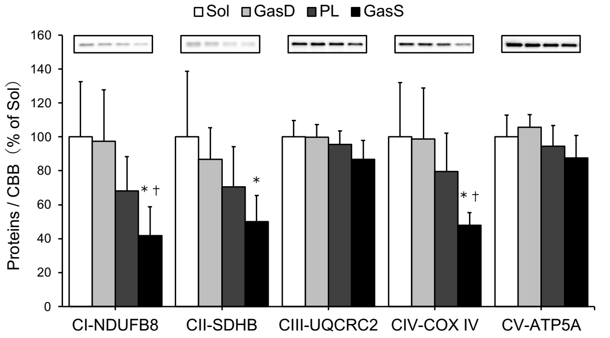

図1. 単離Mitoにおける呼吸鎖複合体発現量の比較
平均値 ± 標準偏差, n = 6/群, ＊: p < 0.05 vs Sol, †: p < 0.05 vs GasD, §: p < 0.05 vs PL

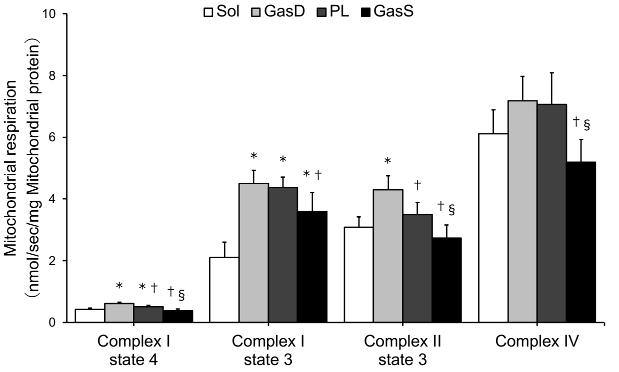

図2. 各筋における単離Mito呼吸機能の比較
平均値 ± 標準偏差, n = 6/群, ＊: p < 0.05 vs Sol, †: p < 0.05 vs GasD, §: p < 0.05 vs PL

考　察

本研究の結果から、遅筋線維優位な骨格筋では単位ミトコンドリアあたりに含まれる呼吸鎖複合体が多い可能性が示された。しかしながら、遅筋線維優位な骨格筋のミトコンドリアであっても、その呼吸機能は必ずしも高いわけではないことが示された。したがって、遅筋線維優位な骨格筋における酸化的リン酸化能の高さは、ミトコンドリア含量の多さに起因する可能性が示唆された。

引用参考文献

Armstrong et al. (1984) Am J Anat 171: 259-272.
Glancy et al. (2011) Am J Physiol 300: 1280-1290.
Jackman et al. (1996) Am J Physiol 270: 673-678.
Mogensen et al. (2005) Acta Physiol Scand 185: 229-236.

骨格筋損傷後の温熱刺激が筋再生能へ及ぼす影響

○芝口翼，小間陸嗣，山崎綾夏，日光泰斗，松本龍樹，増田和実（金沢大学）

キーワード：筋再生，線維化，温熱刺激，ミトコンドリア

目　的

スポーツ医学領域において、RICE 処置は急性外傷時の応急処置のゴールドスタンダードとして広く受け入れられている。中でもアイシング処置は受傷後の炎症・疼痛を抑え、正常な組織の二次的損傷を防ぐことで、その後の組織再生を促進させると長年考えられてきた（Merrick, 2002 他）。しかしながら、2010 年代から骨格筋損傷直後の単回のアイシング処置が筋再生不全を招くことが報告され始め（Shibaguchi ら, 2016 他）、筋損傷治療としてのアイシング処置の是非が近年問われている。

一方、温熱刺激は血管拡張・血流促進などによって痛みや炎症を助長することから、筋損傷後急性期の治療法として従来禁忌とされてきた。こうした中、我々を含むいくつかの研究グループは、骨格筋の損傷直後の単回、あるいは受傷後早期からの間欠的な温熱刺激は筋再生を促進し、線維化を抑制することを報告した（Shibaguchi ら, 2016 他）。また、温熱刺激は骨格筋のミトコンドリア生合成を誘導できることも報告されていることから（Tamura ら, 2014 他）、筋損傷後の急性期は患部を冷却するよりも加温した方が再生応答を促し、筋機能と筋代謝能の回復両方を促進できる可能性がある。しかしながら、損傷した骨格筋への温熱刺激がもたらす生理作用は未だ不明な点が多い。そこで本研究では、骨格筋損傷後の温熱刺激が筋再生能に及ぼす影響について検証した。

方　法

10 週齢の Wistar 系雄性ラットを筋損傷群と筋損傷＋単回温熱刺激（HS）群、筋損傷＋間欠的温熱刺激（HI）群に群分けした。全てのラットのヒラメ筋（遅筋）と足底筋（速筋）に塩酸ブピバカインを筋注することによって、筋損傷を薬理学的に惹起させた。HS 群には、麻酔下で後肢の温水浴（42°C or 40°C）による温熱刺激を筋損傷直後の 1 回のみ、30 分間行った。HI 群には、覚醒下で後肢の温水浴（42°C, 30 分/日）による温熱刺激を損傷 2 日後から隔日に最大 2 週間（7 回）行った。損傷 28 日後にヒラメ筋と足底筋を摘出し、組織化学的分析ならびに生化学的分析に供した。

結　果

損傷 28 日後において、HS 群（42°C 条件）のヒラメ筋重量（体重比）とミトコンドリア関連タンパク質（VDAC1）発現量に変化は認められなかったが、線維化面積は筋損傷群と比較して有意に低い値を示した（$P<0.05$）。しかしながら、足底筋の筋重量（体重比）と線維化面積、VDAC1 発現量は、筋損傷群と比較してそれぞれ有意に低値、高値（$P<0.05$）、低値傾向を示した。40°C 条件においてもほぼ同様の変化が認められたが、ヒラメ筋の線維化面積は筋損傷群と同程度であった。

一方、HI 群ではヒラメ筋重量（体重比）に温熱刺激の影響は認められなかったが、足底筋重量（体重比）は筋損傷群と比較して有意に高い値を示した（$P<0.05$）。また、線維化面積は、筋損傷群と比較してヒラメ筋と足底筋でそれぞれ低値傾向、有意に低い値を示した（$P<0.05$）。

考　察

本研究では、筋損傷直後の 42°C の温熱刺激はヒラメ筋の線維化の亢進を減弱するが、足底筋の再生不全を引き起こすこと、そして 40°C 条件においてもほぼ同様の現象が起こることが明らかとなった。したがって、筋損傷直後の温熱刺激は筋種によって筋再生を促進/阻害することがあり、それは単純に温度条件の影響だけではない可能性が示唆された。

また、筋損傷 2 日後からの温熱刺激は、足底筋重量の回復を促進するとともに、足底筋とヒラメ筋の線維化の亢進を減弱した。したがって、筋損傷後の温熱刺激の適用方法によって筋再生能は変化し、受傷後早期からの間欠的な温熱刺激は、筋種に関わらず筋再生を促進できる可能性が示唆された。

引用参考文献

Merrick. (2002) J Athl Train 37: 209-217.
Tamura et al. (2014) Am J Physiol 307: R931-R943.
Shibaguchi et al. (2016) J Physiol Sci 66: 345-357.

荷物重量の違いが中高年者のステップ動作時のリズム及び重心動揺に及ぼす影響

○青木宏樹（福井工業高等専門学校），岩田英樹（金沢大学），畝本紗斗子（金沢工業大学），
杉浦宏季（福井工業大学），津田龍佑（金沢医科大学），村山孝之（金沢大学），増田和実（金沢大学）

キーワード：中高年者，荷物保持，移動能力

目　的

重い荷物保持は歩容に影響を及ぼすことが明らかにされている(Hyung et al., 2016)。軽い荷物保持に比べて重い荷物保持は歩容に及ぼす影響が大きくなり，歩行の安定性が低下する可能性がある。一方，加齢により移動能力が低下する中高年者を対象にそのことは詳細に検討されていない。本研究の目的は，荷物重量の違いが中高年者のステップ(歩行に類似したその場規定テンポステップ)動作時のリズム及び重心動揺に及ぼす影響を検討することであった。

方　法

1．対象者

対象者は，健康な中高年男性 5 名(年齢 51.2±7.0 歳，身長 169.8±4.7 歳，体重 64.8±10.8kg)であった。

2．規定テンポステップ

対象者は、リュックサックを背負った状態で，60bpm, 90bpm，及び 120bpm のテンポに合わせて，測定器上(静的動的バランスシステム：竹井機器社製)で 1 分間のその場ステップを行った。ステップ中のテンポと接地時間との差及び重心動揺を測定した。測定は各条件で 2 回行った。

3．荷物保持条件

先行研究(Hyung　et al., 2016)を参考に，リュックサックの重量の条件は体重の 0%、5%、及び 10%とした。

4．評価変数

誤差(テンポと接地時間との差)，総軌跡長及び外周面積(重心動揺変数)とした。2 試行の内，優れた方の値を代表値とした。

5．解析方法

各変数の荷物条件間差を検討するために，Friedman 検定を行った。有意水準は 0.05 とした。

結　果

表1は，60bpmテンポにおける各変数の基礎統計値及び重量間差の結果を示している。全ての変数において重量条件間に有意な差は認められなかった。

表1　60bpmテンポにおける各変数の基礎統計値及び重量間差の結果

	0%重量条件		5%重量条件		10%重量条件		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	χ^2値
誤差(秒)	6.3	6.5	7.5	5.3	8.6	9.5	1.600
総軌跡長(mm)	12508.4	944.6	12324.5	630.6	12235.6	822.2	0.400
外周面積(mm^2)	12931.4	2947.2	12680.0	2287.8	11718.5	3703.7	0.400

表2は，90bpmテンポにおける各変数の基礎統計値及び重量間差の結果を示している。全ての変数において重量条件間に有意な差は認められなかった。

表2　90bpmテンポにおける各変数の基礎統計値及び重量間差の結果

	0%重量条件		5%重量条件		10%重量条件		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	χ^2値
誤差(秒)	5.0	3.0	6.6	5.3	5.3	5.0	1.600
総軌跡長(mm)	17639.7	1252.9	17410.2	1080.8	17535.8	1131.2	2.800
外周面積(mm^2)	13850.5	2679.2	13039.7	2909.6	12294.3	2907.5	5.200

表3は，120bpmテンポにおける各変数の基礎統計値及び重量間差の結果を示している。全ての変数において重量条件間に有意な差は認められなかった。

表3　120bpmテンポにおける各変数の基礎統計値及び重量間差の結果

	0%重量条件		5%重量条件		10%重量条件		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	χ^2値
誤差(秒)	6.3	6.5	7.5	5.3	8.6	9.5	1.600
総軌跡長(mm)	12508.4	944.6	12324.5	630.6	12235.6	822.2	0.400
外周面積(mm^2)	12931.4	2947.2	12680.0	2287.8	11718.5	3703.7	0.400

考察

中高年男性が荷物を背負って歩行した場合、体重の 10%以内の荷物重量であれば身体の揺れを拡大させることなく、同じペースで安定的に歩行できる可能性が示唆された。

引用参考文献

Hyung, E.J., Lee, H.O., Kwon, Y.J. (2016) Influence of load and carrying method on gait, specifically pelvic movement. J. Phys. Ther. Sci. 28., 2059-2062.