

正常足と扁平足の足部アライメントの違いがランニング中の足部内モーメントに与える影響

○高林 知也^{1,2)}, 江玉 睦明^{1,2)}, 稲井 卓真³⁾, 久保 雅義^{1,2)}

- 1) 新潟医療福祉大学 運動機能医学研究所
- 2) 新潟医療福祉大学 理学療法学科
- 3) 産業技術総合研究所 ぐらら工学研究グループ

【目的】扁平足は代表的な足部変形であり、多くの足部ランニング障害を発症しやすい。扁平足者のランニング障害の発症機序を明らかにするために、我々はこれまで足部内の動きに着眼した研究を行ってきた。例えば、扁平足者はランニング中に後足部と中足部が過剰に外がえしすることを明らかにしてきた。しかし、これまでは足部内に生じる「運動」のみに焦点をあてており、足部内に生じる「力学負荷」は検証できていなかった。そこで、本研究は正常足と扁平足の足部アライメントの違いがランニング中の足部内モーメントに与える影響を検証した。

【方法】対象は健康男性の正常足13名と扁平足13名とした。Foot posture index-6を用いて、スコアが0~+5を正常足、6以上を扁平足に分類した。Rizzoli foot modelに準じ対象者の右下腿と足部に反射マーカーを貼付し、ランニング中の反射マーカー位置と床反力、足圧を測定した。先行研究(Deschamps et al, 2017)の方法に準じ、矢状面上の足関節モーメント、ショパール関節モーメント、リスフラン関節モーメントを計算した。関節モーメントに影響を与えるランニングパラメータ(速度、ケイデンス、ステップ長)とstrike index(接地パターンの指標)も算出した。関節モーメントピーク値とランニングパラメータ、strike indexに対し、R studioを用いて2群間で統計解析を行った。有意水準は5%とした。

【結果】ランニングパラメータとstrike indexは2群間で有意差を認めず、全被験者は後足部接地パターンであった。正常足者と比較して、扁平足者はリスフラン関節の底屈モーメントピーク値が有意に高値を示した($p=0.03$)。足関節およびショパール関節モーメントは群間で有意差を認めなかった。

【考察】ランニングパラメータと接地パターンが群間で有意差を認めなかったため、これらのパラメータは足部内モーメントに影響しないことを示唆している。扁平足者でリスフラン関節のモーメントピーク値が高値を示したことに関して、歩行時の蹴り出しではウィンドラスメカニズムによって内側縦アーチが拳上し、足部の剛性が高まる。扁平足者は内側縦アーチが下降している足部アライメントを呈しているため、正常足者と比較して効率的にウィンドラスメカニズムが機能しないと考えられる。その代償として、扁平足者はリスフラン関節の底屈モーメントを増大させることで、ランニング時も地面を蹴り出していたことが考えられる。

【結語】過剰なリスフラン関節底屈モーメントは、主にリスフラン関節周囲筋の過活動によって生じていると考えられる。筋の過活動は関節周囲組織に負荷を与えるため、本研究結果は扁平足者が足部ランニング障害を発症しやすい機序を説明するうえで役立つ知見になり得る。

【倫理的配慮、説明と同意】本研究は所属機関の倫理審査委員会の承認を受けており、実験開始前に対象者に本研究内容を十分に説明し、同意を得た上で行われた。

等尺性トレーニングはDMDモデルマウスの筋病変を改善する

○山内 菜緒¹⁾, 内藤 雷¹⁾, 徳田 奈央¹⁾, 木村 伊織¹⁾, 芦田 雪^{1,2)}, 青木 吉嗣³⁾, 山田 崇史¹⁾

- 1) 札幌医科大学大学院 保健医療学研究所
- 2) 日本学術振興会 特別研究員
- 3) 国立精神・神経医療研究センター神経研究所 遺伝子疾患治療研究部

【目的】ジストロフィン欠損筋は、伸張性収縮による損傷を受けやすい特徴を有する。一方、デュシェンヌ型筋ジストロフィー(DMD)患者の運動機能を維持する上で、安全かつ効果的な運動処方の実現に対する期待は大きい。そこで本研究では、DMDモデル(mdx52)マウスを用い、損傷性の低い等尺性トレーニング(ISO)がDMD筋の病態および機能に及ぼす影響を検討した。【方法】15-22週齢のWTおよびmdx52マウスの下腿三頭筋に対し、麻酔下にて神経-筋電気刺激(NMES)を用い、ISO(45V, 100Hz, 0.25秒刺激/0.25秒休息, 60収縮, 6セット, セット間のインターバル4分)を2日に1回の頻度で4週間負荷した。最終ISO負荷の2日後にNMESを用いて下腿三頭筋の疲労耐性を測定し、その翌日に足底筋および腓腹筋を採取し解析に供した。【結果】mdx52マウスの非ISO側では、Evans blue dye陽性の損傷線維が集団で観察された。また、それは慢性的なmTOR経路の活性化(Aktのリン酸化)、ミトコンドリア関連因子の低下(PGC-1 α 発現量およびクエン酸合成酵素活性の減少)、オートファジーフラックスの低下(p62発現量の増加, LC3BII/Iの減少)、マクロファージの増加(CD68およびCD206発現量の増加)を伴っていた。一方、4週間のISOはmdx52筋におけるこれらの変化をすべて改善するとともに、筋持久力を顕著に向上させた。【考察】近年、ジストロフィン欠損筋の病態機序に、オートファジー機能の低下が関与することが報告され注目を集めている。本研究では、運動がオートファジーの活性化因子であること、また、ジストロフィン欠損筋はISOでは損傷を起こしにくいことに着目し、ISOがジストロフィン欠損筋の病態を改善するかどうかを検討した。驚くべきことに、4週間のISOは、mdxマウス骨格筋のオートファジー機能を正常化するとともに、筋病変ならびに筋持久力を顕著に改善した。先行研究において、ジストロフィン欠損筋では、慢性的なmTOR経路の活性化がオートファジー障害を引き起こすこと、一方、PGC-1 α はmTOR経路に拮抗して作用することが報告されている。したがって、ISOによるオートファジー機能の正常化には、PGC-1 α 発現量の増大によるmTOR経路の不活性化が関与すると考えられる。

【結語】ISOは、PGC-1 α によるmTOR経路の抑制を介したオートファジー機能の正常化ならびにミトコンドリア機能の向上により、ジストロフィン欠損筋の病態を改善することが示唆された。これらの知見は、DMD患者に対する適切な運動処方を実現するために、ISOが活用できる可能性を示すものである。【倫理的配慮、説明と同意】発表者が所属する組織の動物実験倫理委員会(承認番号: 20-084)の承認を得て実施した。



有酸素運動と筋力増強運動がマウス骨格筋におけるマイオカインに与える影響

○ 畠山 隼平^{1,2)}, 井上 翔太^{1,2)}, 李 昌欣¹⁾,
姜 函林¹⁾, 江口 大輔¹⁾, 若山 将弘¹⁾, 森山 英樹³⁾

- 1) 神戸大学大学院 保健学研究科保健学専攻リハビリテーション科学領域
- 2) 日本学術振興会 特別研究員
- 3) 神戸大学 生命・医学系保健学域

【目的】

骨格筋は、運動における主要な効果器としての働きだけではなく、生理活性物質であるマイオカインを血液循環中に放出する分泌臓器としての働きをもつ。これまでに、マイオカインは、運動後に発現量が変化し、その後血液を介して、脳や骨など他臓器・器官に生理的作用を及ぼす可能性が示されてきた。代表的なマイオカインにFNDC5/Irisin、IGF-1、Myostatinがあり、それぞれ骨形成促進や神経新生の作用、インスリン分泌作用、筋タンパク質合成の抑制作用をもつ。しかしながら、どのような運動によって、マイオカインが変化するか検討されてこなかった。そこで、本研究では、マウスを対象として、運動様式(有酸素運動と筋力増強運動)、それらの強度の違いによるマイオカインの変化を調査することを目的とした。

【方法】

本研究では、合計30匹の8週齢・雄性C57BL/6Jマウスを使用した。8・16 m/分(低強度群・高強度群)の速度でトレッドミル運動を行う有酸素運動群、体重の30%・120%(低強度群・高強度群)の重錘負荷でラダー運動を行う筋力増強運動群に、マウスを各6匹ずつ割り当てた。すべての運動群で、1週間の慣化運動後に、8週間の各運動を行わせた。対照群は、同一週齢のマウスとし、実験期間を通じて通常飼育のみ行った。実験期間終了後、マウス腓腹筋を採取し、代表的なマイオカインであるFNDC5/Irisin、IGF-1、Myostatinのウエスタンブロッティングを行い、それぞれのタンパク質発現量を定量した。統計解析は、EZRを用いて一元配置分散分析とpost hoc検定としてTukey HSD検定を行った。統計学的有意水準は5%とした。

【結果】

FNDC5/Irisinタンパク質は、有酸素運動群の低強度群で、対照群と比較して有意に増加した。IGF-1タンパク質は、筋力増強運動群の高強度群で、対照群と比較して有意に増加した。Myostatinタンパク質は、どの運動群においても有意な差を認めず、変化しなかった。

【考察】

FNDC5/Irisinは、筋力増強運動で変化せず、より低強度の有酸素運動によって増加することが示された。一方で、IGF-1は、有酸素運動で変化せず、より高強度の筋力増強運動によって増加することが示された。Myostatinは、どの運動でも変化しないことが示された。

【結語】

本研究結果から、低強度の有酸素運動ではFNDC5/Irisinが、そして高強度の筋力増強運動ではIGF-1が増加した。これらの運動が、臓器・器官に対して効能を与える可能性を考慮して運動処方することが推奨される。

【倫理的配慮、説明と同意】

神戸大学動物実験委員会の承認を得た(承認番号:P211103)。

ストレプトゾシン誘発性の糖尿病がラット骨格筋収縮時における酸素圧勾配と筋張力に与える影響

○ 高見澤 怜^{1,2)}, 堀田 一樹³⁾, 藤井 豊^{1,2)},
池上 諒²⁾, 一杉 直樹^{1,2)}, 井上 達朗^{1,2)}, 田宮 創²⁾,
橋 淳裕^{1,2)}

- 1) 新潟医療福祉大学大学院 医療福祉学研究科
- 2) 新潟医療福祉大学 運動機能医科学研究科
- 3) 北里大学大学院 医療系研究科

【目的】

運動時に骨格筋への酸素供給は劇的に増加する。一方、糖尿病では骨格筋の微小血管の機能的および構造的悪化を惹起し、骨格筋収縮時の酸素供給に障害をきたす可能性がある。また、酸素供給の障害は筋機能低下を惹起することが考えられるが、この関係性は明らかでない。本研究の目的は、糖尿病が骨格筋の毛細血管内外の酸素移動において原動力として働く圧勾配($\Delta PO_2 = \text{微小血管内酸素分圧} - \text{間質酸素分圧}$)、ならびに筋張力に与える影響を検討することとした。

【方法】

Wistar系雄性ラット(n=21, 5-7週齢, 196-309g)を無作為に糖尿病群(DM群)と偽介入群(Sham群)の2群に分けた。DM群は生理食塩水に融解させたストレプトゾシン(50mg/kg)を腹腔内に投与し、糖尿病を発症させた。Sham群は生理食塩水のみを投与した。その後各群のラットを8週間通常飼育した後、以下に述べる実験を行った。まず長趾伸筋(EDL)を麻酔下で露出し電極を縫合した後、下腿骨を固定した。EDL腱を切断して張力トランスデューサーに接続し筋張力を測定した。筋収縮は電気刺激(1 Hz, 2 ms, 6 V, 180 s)により誘発させた。リン光クエンチング法により筋収縮時の骨格筋微小血管および間質の酸素分圧(それぞれ PO_{2mv} , PO_{2is})をリアルタイムかつ*in vivo*で前述の筋張力と同時に計測した。実験終了後にEDLを摘出し、体重当たりの筋湿重量を計測した。得られた PO_{2mv} および PO_{2is} の動態について非線形回帰分析を行った。また、 ΔPO_2 を算出し、各群の曲線下面積を求めた。体重当たりのEDL湿重量と ΔPO_2 曲線下面積における群間比較には、対応のない検定を用い、筋張力の経時的変化は二元配置分散分析(時間×群)を用いて検討した。有意水準は5%とした。

【結果】

体重当たりのEDL湿重量はSham群と比較してDM群で有意に低値を示した($p < 0.05$)。筋張力は時間要因および群要因の主効果を認めず、交互作用も認めなかった。 ΔPO_2 の曲線下面積は、Sham群と比較してDM群で有意に高値を示した($p < 0.05$)。

【考察】

ストレプトゾシン誘発性のDMラットにおいてEDLの筋萎縮が生じたが、筋張力は低下しなかった。同時に、DMラットでは ΔPO_2 の増加を認めた。以上のことから、糖尿病では微小血管内外の酸素圧勾配を代償的に増加させ、酸素輸送と筋機能を維持する可能性が示唆された。

【結語】

ストレプトゾシン誘発性の糖尿病ラットでは骨格筋収縮時における酸素圧勾配が偽介入ラットと比べて増加した。

【倫理的配慮】

本研究は、発表者が所属する組織の動物実験倫理委員会(承認番号:02012-02117)の承認を得て実施した。



ヒトにおける運動誘発性筋損傷に対する寒冷療法および温熱療法の有用性の検討

○池上 諒¹⁾, 中村 雅俊²⁾, 堀田 一樹³⁾, 井上 達郎¹⁾, 田宮 創¹⁾, 椿 淳裕¹⁾

- 1) 新潟医療福祉大学 リハビリテーション学部
- 2) 西九州大学 リハビリテーション学部
- 3) 北里大学 医療衛生学部

【目的】スポーツ現場やリハビリテーション現場において、運動後の筋損傷を予防するためにアイシングが行われている。アイシングの効果は経験的に確かめられたものが多く、必ずしも科学的根拠に基づき行われているわけではない。我々はこれまで小動物を用いた研究により、運動後の寒冷療法が筋損傷からの回復を遅延させ筋機能を低下させる可能性や、温熱療法が運動後の筋損傷予防に有効である可能性を明らかにした。しかしながら、小動物とヒトでは体温調節能が大きく異なるため同様の結果が得られるとは限らない。本研究はヒトにおいて運動後の寒冷療法は筋損傷からの回復を遅延させ、温熱療法は筋損傷からの回復を促進させるといった仮説を検証した。

【方法】

運動習慣の無い健康成人男性40名を無作為に対象群(CONT), 寒冷刺激群(ICE), 温熱刺激群(HEAT)に振り分けた。利き腕に対して等速性筋力測定装置を用いて肘関節90°屈曲させた状態から0°まで角速度を30°/secの全力伸張性収縮(ECC)を30回負荷した。ICEはアイスパックを、HEATは極超短波治療器(10cmの距離から80wの強度)をECC直後に30分間実施した。ECC前、直後、30分後、1, 2, 3, 4, 7日後に筋発揮張力、筋厚、主観的疼痛強度、弛緩時肘関節角度を測定した。統計学的解析は、二元配置分散分析、下位検定としてBonferroni法による多重比較を実施した。有意水準は $P < 0.05$ 以下とした。

【結果】

CONT, ICE及びHEATにおいてECC直後から7日後にかけて筋発揮張力が有意に低下した(初期値からの最大低下率: CONT: $45.8 \pm 11.8\%$, HEAT: $42.2 \pm 12.7\%$, ICE: $47.3 \pm 5.1\%$)。しかしながら、ECC直後から7日後にかけての筋発揮張力の低下率に群間で有意な差は認めなかった。また、主観的疼痛閾値の動態も各群で有意な差は認めなかった。一方で、筋厚、弛緩時肘関節角度は1日後以降にCONTと比較してHEATは有意差を認めず、ICEで有意に低値を示した($P < 0.05$)。

【考察】

本研究の結果により、ECC後の寒冷療法及び温熱療法はECC後の筋発揮張力に影響を与えないことが明らかとなった。一方で、寒冷療法は筋厚の増加を抑制し弛緩時肘関節角度制限を改善した。筋厚はECC後の筋の浮腫を反映し得るため、ECC後に寒冷療法を行うことにより、ECC後の筋損傷が軽減される可能性がある。対照的に、温熱療法はECC後の疼痛、筋厚、弛緩時肘関節角度に影響を与えなかった。したがって、温熱療法は運動による筋損傷を抑制せず、寒冷療法は損傷を軽減させる可能性があるものの、生体においては筋発揮張力の回復に影響を与えないためその効果は軽微である可能性が示された。

【結語】

運動後の寒冷療法及び温熱療法は筋損傷からの回復に影響を与えないことが示唆された。

【倫理的配慮、説明と同意】

本研究は、発表者が所属する施設の研究倫理委員会(承認番号: 18730-210826)の承認を得て実施した。

静脈の拡張が運動時の換気応答に与える影響

○藤田 大輔¹⁾, 田川 辰也¹⁾, 久保 裕谷²⁾

- 1) 福岡国際医療福祉大学 医療学部 理学療法学科
- 2) こぼり整形外科クリニック リハビリテーション科

【目的】

骨格筋を中心としたグループⅢ/Ⅳ線維による末梢性フィードバック情報は、健康者では活動筋への効率的な酸素供給に寄与している。一方で、心不全患者では末梢性フィードバック情報が増加すると過剰な換気応答を引き起こし、運動不耐容性に関連することが知られている。心不全患者に特徴的な身体所見である浮腫は静脈を拡張させるため、浮腫は末梢性フィードバック情報となる可能性がある。そこで、本研究では浮腫をシミュレートする静脈閉塞を用いて運動時の換気応答の変化を明らかにすることを目的として実施した。

【方法】

対象は健康成人男性6名とした。対象者には呼気ガス分析用のマスクを取り付けて、両下腿部に静脈を閉塞するために加圧用マンシットを巻いた。プロトコルは安静立位3分、ウォーミングアップとして時速4.5kmに設定したトレッドミル歩行を1分行った後、時速6.0kmに設定したトレッドミル歩行3分を行った。この歩行中に静脈閉塞条件を無閉塞、60mmHg閉塞、100mmHg閉塞をランダムに設定し、下腿部に圧を加えた。運動終了後1分は回復期間、その後ウォーミングアップを1分間設けて、静脈閉塞歩行を3回行った。測定項目は酸素摂取量、二酸化炭素排出量、呼吸数、一回換気量、分時換気量とした。統計学的解析には線形混合モデルによる一元配置分散分析を行い、多重比較検定はボンフェローニ法を用いた。統計学的有意水準は5%とした。

【結果】

運動負荷量は約4メッツ・時であり、各条件に差は認められなかった。酸素摂取量、二酸化炭素排出量、1回換気量、呼吸数、分時換気量は安静時と比較して全ての条件において有意に増加した($p < 0.01$)。静脈閉塞歩行の条件間では各変数に有意差は認めなかったが、呼吸数が無負荷条件と比較して $60 \cdot 100\text{mmHg}$ 閉塞条件で増加傾向を認めた(60mmHg : 呼吸数の差=1.7回/分、 $p=0.31$ 、 100mmHg : 呼吸数の差=2.1回/分、 $p=0.13$)。

【考察】

本研究の結果、無閉塞時と比較して静脈閉塞圧が上昇すると運動時の呼吸数が増加する傾向にあった。したがって、静脈の拡張は呼吸ドライブを亢進させる末梢性フィードバック情報の可能性がある。この結果は浮腫が運動時の換気応答に関連することを示唆するものであり、今後対象者数を増やして検討する必要がある。

【結語】

静脈閉塞法によって末梢性フィードバック情報を増加させると、酸素摂取量、二酸化炭素排出量、1回換気量に関係なく、運動時の呼吸数が増加する可能性がある。

【倫理的配慮、説明と同意】

本研究は、発表者が所属する施設の研究倫理委員会(承認番号: 20-fihw-012)の承認を得て実施した。対象者には書面と口頭にて説明を行い、同意を得た。

