

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：32620

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26750338

研究課題名(和文) 運動誘発性ストレスを指標としたオーダーメイド型リカバリー方法の開発

研究課題名(英文) Development of an order-made recovery method based on exercise-induced stress

研究代表者

辻川 比呂斗 (TSUJIKAWA, HIROTO)

順天堂大学・保健看護学部・准教授

研究者番号：10348980

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：繰り返される超最大運動(無酸素運動)の間に実施するアクティブリカバリー(AR)は、強度だけでなく、個人に応じた運動様式があるかもしれないと考え、本課題がスタートした。ノルディックウォーキング(NW)によるARは、同一強度の歩行運動にも関わらず、通常歩行よりも低速度で実施することができた。NWによるARは有意に遅い歩行速度にも関わらず、通常歩行と同等のリカバリー作用を持ちつつ、その後の高強度運動でのパフォーマンスが高くなる事が示された。これらの結果は、繰り返しのある高強度のスポーツ競技や疲労が蓄積される生活などの回復過程でのリカバリーやコンディショニングへの応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The Active Recovery (AR) during repetitive supramaximal exercise (main exercise: Ex) was assumed to have an exercise style suitable for each individual and this study started. This study aimed to elucidate the efficacy of AR after Ex in healthy males. Prior to the experiment, the participants underwent the walking test (normal walking: W and Nordic walking: NW) and maximal exercise test to determine their physical strength and intensity levels that will be utilized during their Ex test and AR sessions. To eliminate the order effect of W and NW, the participants were randomly assigned one of the tests. The Ex I and II consisted of the same VO₂, heart rate and total work load. The AR by NW showed that although the walking speed was significantly slower, the anaerobic performance test in the subsequent the Ex II significantly increased while having the same recovery action as W. These results can be expected to be applied to recovery and re-conditioning in the recovery process.

研究分野：運動生理学

キーワード：アクティブリカバリー 運動誘発性ストレス 尿中8-OHdG ノルディックウォーキング

1. 研究開始当初の背景

「健康づくりのための運動基準 2006」によると、国民の運動習慣を持つ者の割合は、「健康日本 21」等の取組にもかかわらず男性 30.9%、女性 25.8%であり、国民の3分の2が運動習慣を身につけていない状態となっている。そのシステマティックレビューには、身体活動量が多い人の体力は高く、体力を高めるための運動強度には下限があり、総エネルギー消費量で定量化された身体活動量と体力との相関関係は高くなく、日常生活において身体活動量が多くても、体力が高いとは限らず、体力は遺伝的素因が大きく影響しており、身体活動だけでなく体力も生活習慣病の独立変数となる、とまとめられている。つまり、生活習慣病予防には身体活動量の確保だけでなく、高い体力水準が必要と言える。

一方で、平成 24 年に内閣官房から出された「医療イノベーション 5 か年戦略」の骨子「世界最先端の医療実現」の推進方策に、個別化予防といった新しい概念が挙げられている。個別化医療（オーダーメイド医療）については、遺伝子多型を背景とした薬物治療などの探索が実施されており、近年、スポーツ分野においても α -actin 3 (ACTN3) 遺伝子多型と競技種目特性に関連性が注目されている (yang ら, 2003) が、遺伝子多型をベースに運動処方を適用することはこれまで行われていない。今後、個別化予防に対応するアプローチがより重要な生活習慣病やリハビリテーションの分野では、遺伝子多型をベースとして環境因子や生活習慣など後天的要因も加味する必要性が高いと言える。

現状の運動処方の指針では、METs (強度) \times 時間 = Mets \cdot 時を運動量の単位として様々な運動種目に対応した METs \cdot 時を参考として上げている。しかし、ジョギング、水泳、球技などが同一の強度 (METs) で示され、運動様式の違いが考慮されていない。例えば、

通常歩行と比較してノルディックウォーキング (NW) では上肢に荷重が分散されるため、下肢への負担を軽減することが知られている。トレーニング量の増加と酸化ストレスと関連すること (Margonis ら, 2007) や、短期間の集中的なトレーニングであっても酸化ストレスが増加する (Shing ら, 2007) ことが報告されており、動員される筋群の違いや荷重配分は、運動誘発性ストレスに影響を与えると考える。

個別化医療のような“オーダーメイド型運動処方”の開発が必要とされるが、高い体力水準確保のための運動強度を対象者に与えるということは、それ自体が大きな負担、ストレスとなってしまう可能性がある。申請者はこれまで急性運動ストレスがラット心筋保護効果を減少させることを発見した

(Tsuji-kawa ら 2008 年 学会発表) が、そのメカニズムは明らかではない。飛躍的かもしれないが、国民の運動習慣の継続が定着しなかった背景には、身体に掛かる様々な運動誘発性ストレスについての考慮がなされていなかった可能性が考えられる。

高強度運動後のリカバリーとして運動、電気刺激および受動的回復で比較したところ、運動での回復が早い (Necic ら, 2012) ことが報告されている。このような急性運動に対する生理的パラメーターについての検討は多いものの、運動誘発性のストレスとの関連については明らかになっていない。体力水準を確保するための運動強度・様式と運動誘発性ストレス、そして、それらのパラメーターに対する回復プロセスを解明し、リカバリー処方の開発につなげる本研究は国民の健康にとって非常に価値の高いものである。

2. 研究の目的

上記の背景をもとに、本研究はまず運動強度と種々の運動誘発性ストレスとの関連性を明らかにし、次に異なる運動様式が運動誘発性ストレスに及ぼす影響についての基礎

的なデータを蓄積する．そして被験者の身体特性を把握して，ストレスマーカーを利用した新しい運動処方やリカバリー処方の開発，臨床応用に展開するための基盤となる研究を実施する．研究期間内には以下のことを明らかにする．

(1) 同程度の生理的負荷での有酸素性および無酸素性運動が運動誘発性ストレスにどのように影響されるかは明確ではない．そこで，異なるエネルギー供給系で構成される運動が唾液アミラーゼ活性および尿中 8-OHdG に及ぼす影響について検討した．血中，尿中および唾液中のストレスマーカーについて測定条件が安定的な自転車運動を用いた運動テストを実施する．中強度(OBLA 強度)および高強度(無酸素性パワーテスト)運動を実施し，運動強度と運動誘発性ストレスとの関連性を明らかにする．

(2) 運動様式の違いによる下肢へのインパクト(衝撃)の差と運動誘発性ストレスとの関連性を明らかにするため，我々は無酸素運動後のアクティブリカバリー時に，ノルディックウォーキング(NW)が通常歩行(W)と比較し，2回の超最大運動のインターバル中のアクティブリカバリーの違いについて検討した．また被験者の形態的特性(身長，体重，四肢周径囲および体脂肪率)および機能的特性(最大酸素($\dot{V}O_{2max}$)摂取量，心拍数，無酸素パワー，筋力)について詳細に検討し，リカバリー中のストレスマーカー動態との関連性を明らかにする．

3. 研究の方法

(1) 健康的な成人男性5名を対象に，予め実施した有酸素運動としての持久性最大ペダリングテスト(all-out)と通常歩行(W)およびノルディックウォーキング(NW)による30分間のリカバリー運動を含む無酸素運動として30秒間全力ペダリングテスト(Wingate-test: WT)と実施した．NWおよびWは無作為順序で配置された．運動直前および運動後15分以内に採尿を行った．all-out

テストは回転数60 rpmで1.5 kp 負荷からスタートし，2分毎0.5kp ずつ漸増し，4.0 kp 以降は毎分0.2 kp ずつ疲労困憊に至るまで漸増した．WTテストは5分間の安静位を保った後，3分間のウォームアップを行い，体重の7.5%負荷で30秒間の全力ペダリングを実施した．その後，すばやくトレッドミルに移動し，予め計測している4 METs 強度相当の速度でのアクティブリカバリーを実施した．

アクティブリカバリーはNWおよびWの2種類の歩行を行い，その順序は無作為に配置された．被験者は少なくとも1週間の間隔を空けて，2回のWTを実施した．

WT前の安静時より $\dot{V}O_2$ およびHRを経時的に測定し，安静前，アクティブリカバリー中およびアクティブリカバリー後に唾液アミラーゼ活性を計測した．尿中8-OHdGは測定の前後に採尿し，後日分析を行った．

(2) 健康な男性6名を対象に，NWおよびWの両歩行によるアクティブリカバリーについて順序効果が相殺されるように各施行が実施された．十分なW-UP後，主運動($120\% \dot{V}O_{2max}$ 強度 $\times 90$ sec)に続いて20分間のアクティブリカバリー後，再度同強度の主運動を実施し，その後に無酸素パワーテストを行なった(Fig.1 参照)． $\dot{V}O_{2max}$ 計測は事前に自転車エルゴメーターにて実施した，およびアクティブリカバリー強度は事前に歩行テストを実施し，各被験者の各条件に等価(4 METs)となるように算出して実施した．測定項目は酸素摂取量($\dot{V}O_2$)，心拍数，La，主観的運動強度(RPE)および尿中8-OHdGを計測した．

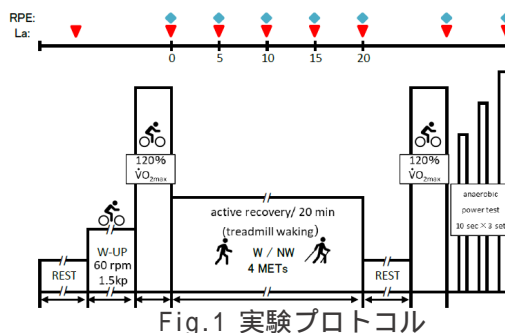


Fig.1 実験プロトコル

4. 研究成果

(1) 【異なるエネルギー供給系で構成される運動が運動誘発性ストレスに及ぼす影響について】

無酸素運動 (WT) 後のアクティブリカバリー中の $\dot{V}O_{2max}$ はW, NWともに同様の値を示した。仕事量は持久性最大ペダリングテストと比較して、無酸素性運動であるWT-WおよびWT-NWが高値を示した。唾液アミラーゼ活性は、各条件において有意な差は見られなかったが、無酸素運動後のNWによるアクティブリカバリー後の値は、実施前よりも低い傾向であった。

尿中8-OHdGは、無酸素性運動において、運動後の値が運動前よりも有意に高い値を示した。統計的に有意な差は見られなかったが、WT-NWのPostはWT-Wよりも低い傾向にあった。

まとめると、唾液アミラーゼ活性は各施行共に運動により増加傾向を示し、尿中8-OHdGは、持久性最大運動と比較して、無酸素運動後は高い値を示した。リカバリー運動を実施したとしても、神林ら(2015)の先行研究¹⁾と同様に無酸素性運動後、高い酸化ストレスが生じることが明らかとなり、それは数時間経過することが確認された。また、アクティブリカバリーの種類により運動誘発性ストレスが減少する可能性が示唆された。

(2) 【異なるアクティブリカバリーが超最大運動後の運動誘発性ストレスおよびパフォーマンスに及ぼす影響について】

本実験は、3分間のウォームアップを行った後、 $120\% \dot{V}O_{2max}$ 強度の主運動を実施した。主運動終了後は、直ちにトレッドミル上に移動し、歩行テストで得られた4 METs相当となる歩行速度(等価速度)で20分間のアクティブリカバリーを行った。通常歩行(W)とノルディックウォーキング(NW)の順序効果を相殺するように被験者は配置された。本実験の主運動において $\dot{V}O_2$, HR, 総仕事量

は同一であった。主運動が終了して直ぐにアクティブリカバリーを実施した。アクティブリカバリー中の $\dot{V}O_2$, 心拍数, RPEおよびVASスケールにおける両群の差は無く同様に運動直後から徐々に低下していった。アクティブリカバリー中の血中乳酸濃度(La)については、運動直後においてWと比較してNWは低値を示した($P < 0.05$)。主運動では、主運動と同等の運動パフォーマンスを發揮でき、両条件間で有意差は認められなかった。パフォーマンステストでは、最大無酸素パワー値がWと比較してNWにおいて有意に高値を示した。

これらの結果から、NWによるARは低速歩行となるにも関わらず、HRや $\dot{V}O_2$ が確保される全身運動となることから、主働筋の速筋線維で産生されたLaがその組織内、もしくは全身に循環され、心筋や遅筋線維にて酸化過程でエネルギー基質として利用される乳酸シャトルにより説明できると考えられた。本研究は体重支持が異なる運動をARとして用いることで主働筋に対するAR強度が異なる条件を選択している。2条件の大きな違いとしてWは下肢中心の運動であることに対して、NWは体幹および上肢を動員させる全身運動であることが挙げられる。NWはWに比べ、ストライドが大きくなり、同一運動強度にも関わらず低速で実施することが可能となることから、下肢へ荷重負担が減少すると考えられる²⁾³⁾⁴⁾。主運動直後の無酸素パワーテストの最大パワー値が高かったことから、乳酸系のエネルギー回復に貢献していることが示唆された(Fig.2参照)。

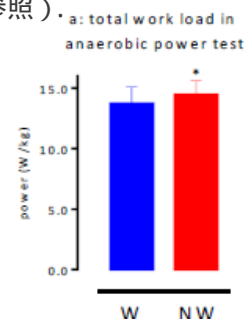


Fig.2 無酸素パワーテスト後の総仕事率

【総括】

(1)および(2)の実験の結果から、本研究において有酸素性最大運動と比較して、無酸素性運動では、尿中の酸化ストレスマーカーである 8-OHdG が有意に増大したが、交感神経活動マーカーである唾液アミラーゼには運動の種類による差は認められなかった。また、超最大無酸素性運動後におけるアクティブリカバリーの際に、4 METs での等価速度運動では、ノルディックウォーキングは有意に遅い歩行速度にも関わらず、通常の歩行運動と同等のリカバリー作用を持ちつつ、その後の高強度運動でのパフォーマンスが高くなる事が示された (Fig.3 参照)。

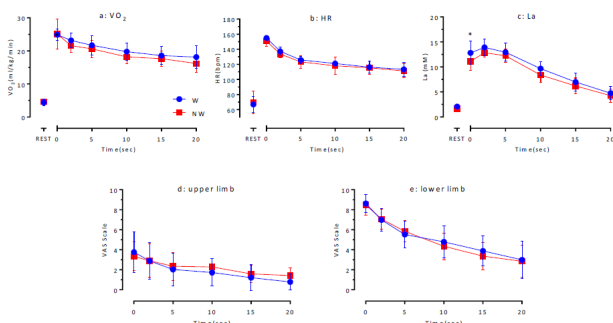


Fig.3 AR 中の各パラメータの経時変化

これらの結果は、繰り返しのある高強度のスプリント競技や疲労が蓄積される日常生活における回復過程 (リカバリー) に応用出来るだろう。

もともと想定していた目標であるオーダーメイドリカバリー法の確立とまでは本研究では辿りつくことが出来なかった。しかしながら、運動の種類による運動誘発性ストレスの違いや、疲労困憊からの回復過程に自重を支えるポールを利用することにより、より安全かつ有効にリカバリー出来る手段を見出すことが出来た。

今後、上肢と体重との筋力比とリカバリー時の各パラメータの変化を詳細に検討し、より安全性が高く、効果的な強度設定を実施していきたい。

【参考文献】

1. 神林ら (2015): 高強度間欠的運動時の運動パフォーマンスと酸化ストレスとの関連. 北海道体育学研究 50:43 - 51
2. Sugiyama, K., et al. (2013). "Oxygen uptake, heart rate, perceived exertion, and integrated electromyogram of the lower and upper extremities during level and Nordic walking on a treadmill." Journal of Physiological Anthropology 32(1): 2.
3. Willson, J., et al. (2001). "Effects of walking poles on lower extremity gait mechanics." Med Sci Sports Exerc 33(1): 142-147.
4. Secher, N. H. and S. Volianitis (2006). "Are the arms and legs in competition for cardiac output?" Med Sci Sports Exerc 38(10): 1797-1803.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計 1件)

1. Hiroto Tsujikawa, Risa Iwata, Arashi Ishi, Koki Nagatsu, Shino Sasaki, Koji Sugiyama: Effects of different types of active recoveries after supra-maximal exercise on exercise-induced stress and subsequent anaerobic power testing. (submitted to Sports and Exercise Medicine- Open Journal :SEMOJ) 査読中

(学会発表)(計 2件)

1. 辻川比呂斗, 岩田理沙, 佐野成, 谷津祥一, 酒井太一, 杉山康司 高強度運動後のアクティブリカバリーに及ぼすノルディックウォーキングの影響 第70回日本体力医学会大会 2015.9, 和歌山
2. 佐野成, 辻川比呂斗, 岩田理沙, 谷津祥一, 佐々木史乃, 杉山康司 異なるエネルギー供給系が運動誘発性ストレスに及ぼす影響 第70回日本体力医学会大会 2015.9, 和歌山
3. 岩田理沙, 杉山康司, 辻川比呂斗, 村岡功 超最大運動後のアクティブリカバリーとしてのノルディックウォーキング 第71回日本体力医学会大会 2016.9, 岩手

4. 辻川比呂斗, 石井嵐, 佐々木史乃, 杉山康司 超最大運動後のアクティブリカバリーにノルディックウォーキングは有効か? 第 72 回日本体力医学会大会 2017.9, 松山

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

辻川 比呂斗 (TSUJIKAWA, Hiroto)
順天堂大学・保健看護学部・准教授
研究者番号: 10348980

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

杉山康司 (静岡大学教育学部・教授)