

運動種目の違いがストレスマーカーに及ぼす影響

河野 寛, 秋元 萌花, 佐藤 匠実, 増田 華子, 田島 淳, 大塚 達也, 森田 元幹

キーワード：運動種目, 階段上り運動, 自転車運動, ストレス, 唾液アミラーゼ

1. 緒言

生活習慣病を予防するために運動は必要な対処法の1つである。事実、我が国では2024年からスタートした第5次国民健康づくり運動の「健康日本21（第三次）」において、「健康寿命の延伸と健康格差の縮小を目指して、日常生活における身体活動や運動の促進が推奨されている⁽¹⁾。またそれにあわせて、厚生労働省は「健康づくりのための身体活動・運動ガイド2023」を発表しており、エビデンスに基づいて世代に応じた身体活動量や運動量を示している⁽²⁾。このように、超高齢社会を迎えた我が国において、運動を取り入れた生活習慣の改善について、国を挙げて取り組んでいる状況にある。

運動を実施することは、健康の維持増進には効果的であることは周知の事実であり、「健康づくりのための身体活動・運動ガイド2023」でも23メッツ時/週のような推奨値がある⁽²⁾。しかしながら、中高強度の有酸素運動中や直後については、心拍数や換気量が上がり、一定程度のストレスを感じることは誰しもが経験するところである。その経験則であるストレス値の増大は、学術研究でも明らかとされており、一般的な成人⁽³⁾および持久的鍛錬者⁽⁴⁻⁶⁾において運動によってストレス値が上昇することが報告されている。さらには、自転車運動などの有酸素運動では、ストレス値には運動強度依存性があることもわかっている^(3,7)。これらの先行研究をもとにシステマチックレビューを行ったところ、最大酸素摂取量の70%の強度で有酸素運動を実施すると、ストレス値が顕著に上昇することが明らかになっている⁽⁸⁾。高い強度の有酸素運動は、効率的にエネルギーを消費するだけでなく、最大酸素摂取量を向上させるため、生活習慣病の罹患率を低減させることができる。これらをまとめると、比較的強度の高い有酸素運動は、健康増進に効果的である一方で、ストレス値の上昇を招来するため、ストレス値を上昇させにくい有酸素運動の種目を提案する必要がある。

先行研究において用いられた有酸素運動の種目は、ランニングもしくは自転車のような一般的な運動様式であった。有酸素運動にはそのほかにも様々あり、ウォーキングなども人気のある有酸素運動に当たる。とはいえ、ウォーキングによって最大酸素摂取量の70%の強度を引き出すことは、平地ではまず不可能である。ウォーキングのような遊脚期のない自重支持運動によって強度を上げるには上り坂を登るか、階段上り運動を実施することが妥当である。しかしながら、上り坂や階段を上る運動を行ったときのストレス値を評価した研究はこれまでに全くない。我が国は自然豊かな山地がたくさんあり、登山などが中高年者を中心に大変人気がある⁽⁹⁾。このように登山などに代表される人気のある運動形態である上り坂や階段上り運動のストレス値を評価することは、広く国民の健康増進の手助けとなり、そのエビデンスの構築は極めて重要である。したがって、本研究の目的は、一般的な有酸素運動である自転車運動と階段上り運動を同じ運動強度で実施した時の唾液アミラーゼ活性値を比較することであった。

2. 方法

(1) 被験者

健康な大学生18名(20.9 ± 0.2歳)を被験者とした。そのうち、男性13名、女性5名であった。すべての被験者は、当日体調の良い状態で実験に参加した。実験参加に際して、被験者には口頭で実験内容と個人にかかるストレスを説明し、同意を得た。

(2) 最大心拍数の測定

最大心拍数の測定は、自転車運動によって行った。最初の運動負荷を60Wに設定し、1分経過ごとに20Wずつ上げ、目標回転数を1分あたり60回転とし、回転数を維持できなくなった段階で測定を終了した。その間の最大心拍数を記録した。

(3) 運動条件の設定

本実験では、2種類の運動条件を設定した。各被験者の予備心拍の70%を目標心拍数とした。予備心拍とは、最大心拍数から安静時心拍数を減じた値である。1つ目は、エアロバイクを使った自転車運動である。この運動では、ペダルを1分間に60～69回転の速さで漕ぎ続けるように被験者が調整し、15分間行った。2つ目は、クライミルという階段上り専用の機器を使用した階段上り運動である。この運動も同じく15分間行った。どちらの運動条件も目標心拍である予備心拍の70%をキープするために、自転車運動ではペダルの負荷を、階段上り運動では速度を調整することで心拍数の維持に努めた。

(4) 測定項目および手順

実験は、国士舘大学世田谷キャンパスのメイプルセンチュリーホールフィットネスセンターにて行われた。運動中には、心拍数と主観的運動強度（Borgスケール）を測定した。心拍数の測定は、剣状突起の高さに合わせて、Polar H10ベルトを巻き、BluetoothでPolarのM430GPSランニングウォッチにデータを転送し、1分毎に記録した。主観的運動強度も心拍数と同じタイミングで被験者に聞き取りを行って記録した。ストレス指標には、唾液アミラーゼ活性測定装置CM-1.1（ニプロ株式会社、商品名：COCOROMETER）、専用唾液採取シート&ホルダーを用いた。唾液採取シートを舌下に咥え、30秒以上唾液を十分に染み込ませた後、シートを唾液アミラーゼ活性測定装置に挿入し、分析を行った。唾液アミラーゼの測定のタイミングは、両運動条件開始前、運動終了直後、運動終了後10分とした。なお、できる限り運動負荷のストレスを捉えるため、運動終了30秒前から唾液採取シートを咥えてもらった。運動条件の実施順は、順序の影響を排除するためランダムとした。

(5) 統計処理

唾液アミラーゼ活性値、心拍数および主観的運動強度の変化については、二元配置の分散分析（対応あり・あり）（時間×運動条件）を用いた（IBM SPSS Statistics 28.0）。交互作用が認められた場合、下位検定（Bonferroni）を行った。値は平均±標準誤差で表示し、有意水準は5%未満とした。

3. 結果

運動前および運動中の心拍数およびRPEの変化を図1および2にそれぞれ示した。二元配置の分散分析（対応あり・あり）については、心拍数がプラトーになった後、すなわち運動開始後6～15分を対象に行った。その結果、心拍数には交互作用および両主効果に有意性は認められなかったが（いずれもNS）、RPEについては運動条件の主効果に有意性が認められ、自転車運動の方が高値を示した（ $P<0.05$ ）。さらに唾液アミラーゼ活性値の変化については、交互作用（運動様式×時間）が認められ（ $P<0.05$ ）（図3）、下位検定の結果、唾液アミラーゼ活性値は運動直後において自転車運動の方が階段上り運動よりも有意に高値を示すだけでなく（ $P<0.05$ ）、自転車運動において運動前と比較して運動直後に有意に高値を示した（ $P<0.05$ ）。運動後にプラトー状態が認められた6～15分までの心拍数の変化量に自転車運動と階段上り運動の間で有意な差はなかった（ 73.2 ± 3.4 vs 71.8 ± 3.5 bpm; NS）。主観的運動強度は、プラトーが認められた6～15分までの平均値は、階段上り運動と比較して、自転車運動で有意に高値を示した（ 12.7 ± 0.6 vs 14.3 ± 0.6 AU; $P<0.05$ ）。

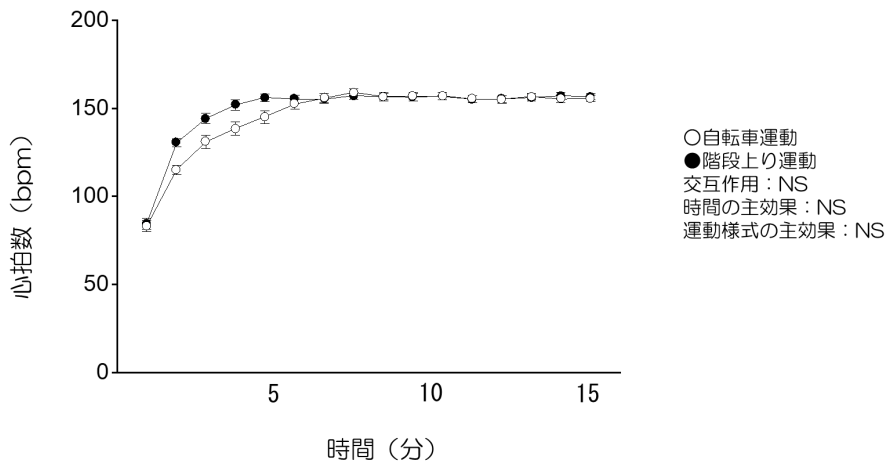


図1 自転車運動と階段上り運動中の心拍数の変化

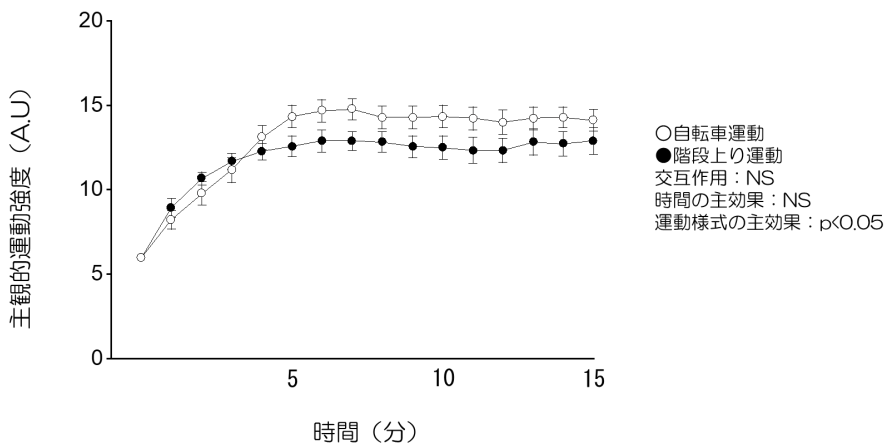


図2 自転車運動と階段上り運動中の主観的運動強度の変化

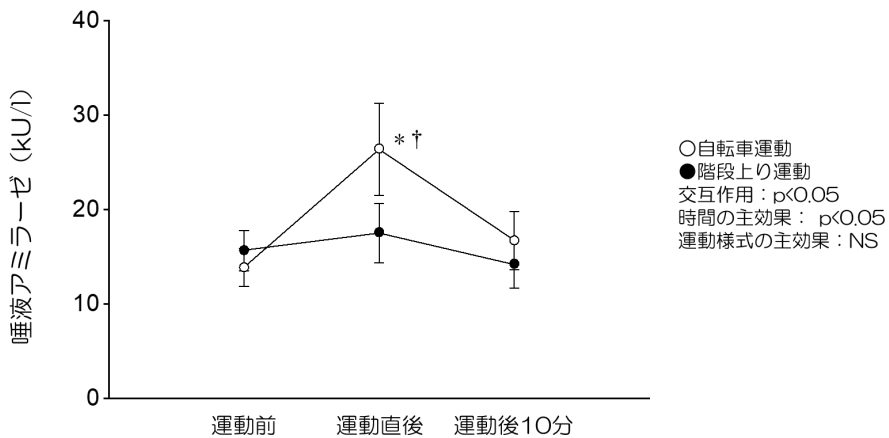


図3 自転車運動と階段上り運動前後の唾液アミラーゼの変化
*P<0.05 vs 自転車運動前, †P<0.05 vs 階段上り運動直後

4. 考察

本研究は、運動様式の違いが運動後の唾液アミラーゼ活性値に及ぼす影響を検討した。結果として、階段上り運動と比較して、自転車運動後の唾液アミラーゼ活性値の方が高値を示した。この結果は、心拍数を用いた同じ運動強度において、自転車運動よりも階段上り運動の方がストレスを感じずに運動効果を得ることが可能であることを示唆している。本研究の結果はストレスを感じにくく健康増進を図り、心肺体力を向上させる運動プログラムの作成の一助になると考えられる。

(1) 交感神経の亢進とストレスの増大

一般的に、運動に限らずストレス負荷に対して交感神経は亢進する⁽¹⁰⁻¹²⁾。そして、唾液アミラーゼやコルチゾールは交感神経由来のストレスマーカーとしてよく知られている⁽¹³⁻¹⁵⁾。その中でも本研究は、非侵襲的に測定が可能な唾液アミラーゼ活性値を用いて、運動に対するストレス反応を評価した。交感神経を意図的に亢進できるものが運動であるが、先行研究において、最大酸素摂取量の20～40%程度の低強度の自転車運動では動脈圧反射によって交感神経の亢進は抑制され、最大酸素摂取量の60%を超えたあたりの中高強度から明らかな交感神経の亢進が認められている⁽¹⁶⁾。そして運動強度に対応するように、最大酸素摂取量の70%付近から唾液アミラーゼ活性値が上昇することもわかっている⁽⁸⁾。本研究においても、予備心拍の70%という中高強度の自転車運動において唾液アミラーゼ活性値が有意に上昇したことは、先行研究の結果と一致する。しかしながら、同じ運動強度の階段上り運動では唾液アミラーゼの値が上昇しなかったことは、考察を深めるべき点である。

先行研究によると、トレッドミルを用いて最大酸素摂取量の70～75%でランニング運動を行った場合、唾液アミラーゼ活性値は有意に上昇しないことが報告されている^(17,18)。これは明らかに先行研究や本研究で実施した自転車運動の結果との違いを示しており、運動様式によってストレス反応が異なることがわかる。一方で、運動中の交感神経の亢進に対して抑制的に働くのが動脈圧反射機能であることから⁽¹⁶⁾、仮に運動様式の違い（全身運動と下半身運動）で動脈圧反射感受性が異なれば、階段上り運動で動脈圧反射感受性が高まることで交感神経がそれほど亢進せずに唾液アミラーゼ活性値が低く抑えられた可能性がある。しかしながら、運動様式の違いが交感神経活動や動脈圧反射感受性に及ぼす影響に関する研究は、我々の文献渉猟範囲内では見つかっていないため、今後の研究が待たれる。

(2) 運動強度に依存した交感神経亢進と心拍変動の増大の関連性

古典的に、運動強度の増大に伴い心拍数や酸素摂取量は高まるが、その要因となっているのが交感神経の亢進であり⁽¹⁹⁾、それに呼応するように心電図のR-R間隔の変動係数の低下やhigh frequencyを代表とする心拍変動の減少である⁽¹⁶⁾。このように交感神経の亢進が誘因となって生じる運動強度依存の交感神経調節（心拍数や心拍変動）の変化が、本研究で実施した両運動条件でも生じた可能性は高いであろう。本研究の自転車運動および階段上り運動は、同じような心拍数の増大を引き起こす運動強度で実施されており、その基となった予備心拍数から算出した目標心拍数が同じであったため、交感神経の亢進による心拍数の増大は同程度であったと推測できる。しかしながら、同じ心拍数の増大が認められながら、唾液アミラーゼの値については、明確な差が生じた。さらに言うと、階段上り運動においては平均心拍数が150拍を超えているにもかかわらず、唾液アミラーゼ活性値に統計的に有意な変化が認められなかった。つまり、唾液アミラーゼ活性値は、交感神経調節の結果である心拍数の増大などでは完全に説明できないことが明らかとなった。

(3) 主観的運動強度（局所的な疲労）とストレスとの関係

本研究は、運動負荷を予備心拍の70%になるように設定して、自転車および階段上り運動の両方において、15分間の運動を実施した。これは、心肺機能に対して両運動条件とも同程度の負荷を与えている。しかしながら、主観的運動強度は階段上り運動と比較して自転車運動において、有意に高値を示した。これは運動様式の違いによ

て心肺機能に対して同負荷であっても運動に対する“きつさ”が違うことを意味する。今回の両運動様式の違いは動員される筋量にあり、大腿部のみで力を発揮する自転車運動の方が、全身を使う階段上り運動と比較して動員される筋量が少ないと考えられる。つまり、より少ない筋量で予備心拍の70%を達成する必要があることから、自転車運動時の主動筋では局所的に大きな負荷が加わったため、被験者の主観的運動強度は高まったと推測できる。つまり主動筋である大腿四頭筋では無酸素性運動に近い状況が招来され、“きつさ”“や”痛み“を感じていた可能性がある。先行研究では、唾液アミラーゼ活性値は、精神的ストレスで値が上昇するだけでなく、痛みに対しても同じ反応を示す⁽²⁰⁾。さらに痛みを感じている場合、疼痛緩和の施術をすることで交感神経活動の緩和を介して唾液アミラーゼ活性値が低下することが報告されている⁽²⁰⁾。このように、“きつさ”“や”痛み“などの主観的指標が唾液アミラーゼ活性値に影響を及ぼすことから、本研究で明らかになった階段上り運動と比較して自転車運動でのみ唾液アミラーゼ活性値が上昇したことの説明は主観的運動強度で一定程度説明できると考えられる。

(4) 今後の研究の展望

本研究では、同じ運動強度であっても運動様式によってストレス値に違いがあることについて、動員される筋量に依存していると考察した。今後は、異なる運動用式かつ動員される筋量が同程度の運動を実施して、ストレス値の違いを検討する必要があるだろう。例えば、自転車エルゴメーター運動とハンドエルゴメーター運動の比較などが想定される。実際に、片麻痺のアスリートのハンドエルゴメーター運動後に唾液アミラーゼ活性値や免疫機能を評価した研究もあり^(21,22)、運動部位の違いと唾液アミラーゼ活性値との関係を明らかにしていく素地は整いつつある。このように、多様な運動様式の実施に対するストレス値の反応を明らかにすることで、より安全で効率的な運動処方の実現に寄与するだろう。さらには、そのようなエビデンスが蓄積されることで、学校体育の現場では、心拍数や唾液アミラーゼ活性値などの簡易な測定を行うことで、各個人にあった授業内容（運動種目）が提供され、個別最適化学習に象徴されるような教育のテーラーメイド化の推進に繋がると考えられる。

運動生理学的な観点から、漸増負荷による自転車エルゴメーター運動中に唾液アミラーゼを連続して測定することで、無酸素性作業閾値の推定が可能であることが報告されている⁽²³⁾。しかしながら、本研究では同じ運動強度でも階段上り運動では唾液アミラーゼ活性値に有意な上昇は認められなかった。この結果は、先行研究で示された無酸素性作業閾値とリンクする唾液アミラーゼ活性の閾値が運動種目によっては活用できない可能性を示唆している。つまり、唾液アミラーゼ活性値の測定自体が簡便である一方で、運動種目毎に閾値が変わる可能性があることから、慎重に取り扱うことが求められるかもしれない。

(5) 研究の限界

第一に、本研究は対象とした被験者が18名であり、人数が十分であるとは言いがたい。統計的に一定程度の信頼性はあるが、唾液アミラーゼ活性値の測定ポイントを増やしたり、運動種目を増やしたりする場合は、サンプルサイズへの配慮が必要である。第二に、今回の実験では、実験環境や被験者のスケジュールなどの制約から、測定時間帯が固定できていない。唾液アミラーゼ活性値には自律神経が強く関与するため、本来は自律神経が安定した午前中だけに測定を行うなどの統制が必要であった。ただし、それでも自転車運動でのみ唾液アミラーゼの値が有意に上昇したことは、それほどまでに運動による交感神経の亢進が強く影響したと言える。第三に、最大酸素摂取量や運動中の酸素摂取量を測定していない。本来は、最大酸素摂取量から負荷設定を行うべきであるが、心拍数と酸素摂取量には正の相関関係があるとは言え、今回は最大心拍数を実測することで代替したことは懸念点の1つある。最後に、運動中および運動後に筋交感神経やノルアドレナリンなどの生化学指標を測定していないことがある。交感神経に関連する指標を測定していた場合、運動種目によって唾液アミラーゼ活性値に違いが出たメカニズムに踏み込むことができたと考えられる。

(6) まとめと研究結果の活用

本研究では、同強度で実施した自転車運動と階段上り運動時のストレス値を比較した結果、自転車運動と

比較して階段上り運動の方がストレス値の上昇が抑えられた。この結果は、山登りに代表されるような運動様式が、一定程度の運動強度でもストレス値を上昇させずに運動が遂行可能であることを示唆している。

引用文献

1. 厚生労働省・健康日本21（第三次）. 厚生労働省 2024.
2. 厚生労働省・健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023. 厚生労働省 2023.
3. Allgrove JE, Gomes E, Hough J, Gleeson M. Effects of exercise intensity on salivary antimicrobial proteins and markers of stress in active men. *Journal of sports sciences* 2008;26:653-61.
4. Diaz MM, Bocanegra OL, Teixeira RR, Soares SS, Espindola FS. Response of salivary markers of autonomic activity to elite competition. *International journal of sports medicine* 2012;33:763-8.
5. Bishop NC, Walker GJ, Scanlon GA, Richards S, Rogers E. Salivary IgA responses to prolonged intensive exercise following caffeine ingestion. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:513-9.
6. Allgrove JE, Oliveira M, Gleeson M. Stimulating whole saliva affects the response of antimicrobial proteins to exercise. *Scand J Med Sci Sports* 2014;24:649-55.
7. 田中 弘, 藤森 貴, 北原 嘉. 持久的運動時の唾液中 α -アミラーゼ活性値の変動要因. 鳴門教育大学紀要 2015;30:485-493.
8. Koibuchi E, Suzuki Y. Exercise upregulates salivary amylase in humans (Review). *Exp Ther Med* 2014;7:773-777.
9. 総務省. 登山・ハイキングの状況－「山の日」にちなんで－（社会生活基本調査の結果から）. 統計トピック 2016;96.
10. Mizuno M, Siddique K, Baum M, Smith SA. Prenatal Programming of Hypertension Induces Sympathetic Overactivity in Response to Physical Stress. *Hypertension* 2012.
11. Calhoun DA, Mutinga ML, Collins AS, Wyss JM, Oparil S. Normotensive blacks have heightened sympathetic response to cold pressor test. *Hypertension* 1993;22:801-5.
12. Seals DR. Sympathetic neural adjustments to stress in physically trained and untrained humans. *Hypertension* 1991;17:36-43.
13. Tananska VT. Salivary alpha-Amylase And Chromogranin A In Anxiety-Related Research. *Folia Med (Plovdiv)* 2014;56:233-6.
14. Obayashi K. Salivary mental stress proteins. *Clin Chim Acta* 2013;425:196-201.
15. Chatterton RT, Jr., Vogelsong KM, Lu YC, Ellman AB, Hudgens GA. Salivary alpha-amylase as a measure of endogenous adrenergic activity. *Clin Physiol* 1996;16:433-48.
16. Saito M, Tsukanaka A, Yanagihara D, Mano T. Muscle sympathetic nerve responses to graded leg cycling. *J Appl Physiol* (1985) 1993;75:663-7.
17. Costa RJ, Fortes MB, Richardson K, Bilzon JL, Walsh NP. The effects of post-exercise feeding on saliva antimicrobial proteins. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2012.
18. Rosa L, Teixeira A, Lira F, Tufik S, Mello M, Santos R. Moderate acute exercise (70% VO₂ peak) induces TGF-beta, alpha-amylase and IgA in saliva during recovery. *Oral Dis* 2014;20:186-90.
19. Seals DR, Victor RG, Mark AL. Plasma norepinephrine and muscle sympathetic discharge during rhythmic exercise in humans. *J Appl Physiol* (1985) 1988;65:940-4.
20. Inami A, Ogura T, Watanuki S et al. Glucose Metabolic Changes in the Brain and Muscles of Patients with Nonspecific Neck Pain Treated by Spinal Manipulation Therapy: A [(18)F]FDG PET Study. *Evidence-based complementary and alternative medicine : eCAM* 2017;2017:4345703.
21. Allgrove JE, Chapman M, Christides T, Smith PM. Immunoendocrine responses of male spinal cord injured athletes to 1-hour self-paced exercise: pilot study. *Journal of rehabilitation research and development* 2012;49:925-33.
22. Leicht CA, Bishop NC, Goosey-Tolfrey VL. Mucosal immune responses to treadmill exercise in elite wheelchair athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43:1414-21.
23. Akizuki K, Yazaki S, Echizenya Y, Ohashi Y. Anaerobic Threshold and Salivary alpha-amylase during Incremental Exercise. *J Phys Ther Sci* 2014;26:1059-63.