

ランニング時の力学的負荷の違いが骨代謝動態に及ぼす影響の検討

初雁晶子¹, 森純菜¹, 鳥居俊²

1. 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

2. 早稲田大学スポーツ科学学術院

1. 緒言

骨では骨基質の置換（リモデリング）を繰り返す骨代謝回転が日々行われている。骨代謝回転は古い基質を吸収する破骨細胞と新たな基質を形成する骨芽細胞により制御され、両者のバランスが保たれていると骨量は維持される。骨は荷重や衝撃による歪みや骨格筋の伸長などによる力学的負荷にตอบสนองして骨代謝回転が変化することが明らかになっている。それは不活動状態では骨形成はほとんど変化しないが骨吸収が亢進し、荷重刺激が加わると骨吸収が徐々に低下し骨形成が亢進するためである⁽¹⁾。そのため日常生活以上に身体に負荷を加える活動である運動を日常的に行うアスリートは運動を行わない人と比べて骨密度（bone mineral density; BMD）が高いことが知られている⁽²⁻⁵⁾。運動が骨密度、骨量の獲得に寄与することは明らかである。

一方で持久系アスリートを代表する長距離走選手は疲労骨折の発生リスクが高いことが知られており⁽⁶⁻⁸⁾、そのリスクファクターの一つに低骨密度が挙げられる^(6,9)。低骨密度になる要因には走行距離が多いこと、月経異常、エナジーアベイラビリティ（運動により消費されたエネルギーが十分に補われないこと）などが挙げられるが、長距離走という運動様式が骨量獲得に適していない可能性がある。骨量の獲得には骨への衝撃が大きく、頻度が低い運動様式が最適だと言われており⁽¹⁰⁾、長距離走は衝撃が小さく、頻度が高い運動様式に分類される。しかし、長距離走選手はトラックレースとロードレースに参加し、両者は速度と走行距離が異なるためトレーニング内容にも違いがある。運動強度の違いに注目した先行研究では、異なる運動強度のランニングを 60 分間行った後には高強度ランニングにおいて骨吸収が亢進したと報告されている⁽¹¹⁾。また 60 分間の自転車運動後に骨吸収マーカーである I 型コラーゲン架橋 C-テロペプチド-B 異性体（ β -CTX）が上昇した⁽¹²⁾。だが、これらの報告は骨への力学的負荷の大きさは考慮しておらず、長距離走選手の速度の違いによる着地衝撃と骨代謝回転との関係に関する報告はない。

そこで本研究は、長距離走における速度の違いによる力学的負荷と骨代謝回転との関係を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 対象者

運動習慣のある健常成人男性 6 名を対象とした（Table 1）。対象者には運動歴があり、定期的な運動としてランニングを行っていた。喫煙習慣、骨代謝へ影響を及ぼす薬物の摂取はなかった。すべて

の対象者に研究内容を書面・口頭にて十分に説明し、事前に書面により同意を得た上で実施した。本研究は早稲田大学人を対象とする倫理委員会の承認を受け実施した (2021-499)。

2.2 事前測定

速度を決定するためにフィールドテストである Cooper test^(13,14)を実施した。測定は15分間のウォーミングアップ後、全天候型陸上競技場にて12分間走を実施し総走行距離を記録した。対象者には可能な限り長い距離を走るように指示した。走行中は心拍センサ (H10N, Polar 社) を装着し終了直後の心拍数を記録した。記録した総走行距離を先行研究⁽¹³⁾より作成した回帰式より VO_{2max} に到達する速度 (vVO_{2max}) を推定し、50%, 55%, 80% vVO_{2max} を算出した。

2.3 実験プロトコル

本研究のプロトコルを Figure 1 に示す。遅い速度 (55% vVO_{2max}) と速い速度 (80% vVO_{2max}) の実施試行順序はランダムに選択した。測定は1試行あたり3日間で構成され1日目 (D1) はランニングと採血、2日目 (D2) と3日目 (D3) には採血を行った。対象者への統制として実験開始48時間前からD3での採血が終了するまで積極的な運動の制限、アルコール摂取の禁止を指示した。

D1での運動はトレッドミル (HORIZON PARAGON X, ジョンソンヘルステックジャパン株式会社) を用いた。実験室来室後、健康状態に問題がないことを確認し採血 (Pre) を実施した。採血後、心拍センサと3軸加速度計 (TSND121, 株式会社 ATR-Promotions) を装着し、トレッドミル上にて50% vVO_{2max} の速度でウォーミングアップを5分行った。ウォーミングアップ終了後、本実験開始とともに加速度計および心拍数測定を開始した。ランニングは1km到達時点までに目的とする速度まで徐々に速度を上げ、1-5km間は設定速度で走行した。運動中は対象者の左側方からカメラ (EX-100PRO, CASIO) でランニング動作を撮影した。運動終了直後 (Post) と1時間後 (Post-1H) に採血を行った。なお運動中は1kmごとに自覚的運動強度 (RPE) を取得した。実験前の食事、実験中の飲水は自由に摂取した。

2.4 データ収集・分析

使用した3軸加速度計 (サンプリングレート: 50Hz) は第3腰椎上にベルトの上から固定し装着した。データは無線接続された再生用ソフトウェア (ALTIMA version 1.1.1, 株式会社 ATR-Promotions) を使用して取得し、上下 (X), 左右 (Y), 前後 (Z) 方向の加速度データを抽出した。解析区間は走行が安定していると考えられる3km到達時点の10歩分とした。取得したデータを2次の Butterworth low-pass digital filter (カットオフ周波数: 20Hz) により平滑化を行った。本研究では疾走時に身体に加わる力学的負荷を床反力 (f) として評価した。床反力を算出するのは上下方向の加速度が最大となる時点とし、その時点での3方向の合成重心加速度 (T_d) を算出した (1)。さらに (1) と重力加速度 ($g: 9.8 \text{ m/s}^2$) の差と体重 (M) の積より床反力を算出した (2)。各

被験者の床反力代表値には 10 歩分の平均値を用いた。

$$T_G = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1)$$

$$f = M (T_G - g) \quad (2)$$

運動中の心拍数 (HR) は心拍センサ (H10, Poral 社) を胸部に装着し, 運動開始前に専用ソフト (Poral beats, Poral 社) との同期を確認した。運動終了後専用ソフトに送られたデータから 5 km 到達時点の心拍数を取得した。

2.5 採血

採血はすべて座位にて安静状態で前腕より行った。D1 では運動開始前 (Pre), 運動終了直後 (Post), 運動終了 1 時間後 (Post-1H) の 3 回, D2 では運動終了 24 時間後 (Post-24H), D3 では運動終了 48 時間後 (Post-48H) をそれぞれ実施し, 1 試行あたり 5 回採取した。検査項目は骨形成マーカー (骨型アルカリフォスファターゼ: BAP), 骨吸収マーカー (酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ-5b: TRACP-5b), コルチゾール, 遊離テストステロン (T), エストラジオール (E₂) とし, BAP は CLEIA 法, TRACP-5b は EAI 法, コルチゾールと E₂ は CLIA 法, 遊離テストステロンは RIA 固相法によって測定した。検査は外部検査会社 (株式会社ビー・エム・エル, 東京, 日本) に委託した。

2.5 統計解析

統計解析には EZR version 1.61 (自治医科大学附属さいたま医療センター, 埼玉, 日本) を使用した。各時点における群間比較には Wilcoxon の符号付順位検定を用いた。各条件での運動前後の血中マーカーの変化を検討するために Friedman 検定を用いた。本研究は反復測定であることから独立性を前提とする補正を行うと第 2 の過誤が生じる可能性があるため, 事後検定には補正を行わない Wilcoxon の符号付順位検定を行った。有意確率は 5% 未満とし, データ表記は中央値 (四分位範囲) とした。

3. 結果

対象者全員が全試行を問題なく完遂した。Table 2 は設定した速度について示している。総走行時間, 総接地回数は 55% vVO₂max に比べて 80% vVO₂max は有意に低値だった。終了時点の HR は 55% vVO₂max に比べて 80% vVO₂max で有意に高値であり, RPE には差は認められなかったものの 80% vVO₂max で高値だった。加速度から算出した床反力は速度間で有意差は認められなかった。

Table 3 には各時点における血中マーカー指標を示す。コルチゾール, エストラジオール, テストステロン, BAP では各時点における群間差は認められなかった。TRACP-5b は Pre にて 55% vVO₂max に比べて 80% vVO₂max で有意に高値であり, 有意差は認められなかったものの Post, Post-

1Hにおいても80% vVO_{2max} で高値だった。

Figure 2-6 に各速度での血中マーカーの変化を示した。55% vVO_{2max} (a) ではコルチゾールとTRACP-5bにおいて変化が認められた。コルチゾールではPreと比較してPost, Post-1H, Post-24H, Post-48Hは有意に低値だった。TRACP-5bではPreと比べてPost-24H, Post-48Hは有意に高値を示した。80% vVO_{2max} (b) ではいずれの項目でも変化はみられなかった。

4. 考察

本研究は、ランニング時の力学的負荷の違いが骨代謝動態に及ぼす影響を検討するために、トレッドミルを使用して異なる速度でランニングを行い、運動前後の骨代謝マーカーの変化を観察した。

運動後の急性的な骨代謝マーカーの変化を検討した先行研究はランニングや自転車をを用いて行われてきた。Scottら⁽¹¹⁾は60分間のランニング後の骨代謝マーカーの変化を運動後4日後まで観察し50%, 65%, 75% VO_{2max} の強度で比較している。彼らは運動終了直後から終了1時間後までは75% VO_{2max} で55% VO_{2max} と比較し骨吸収マーカー（I型コラーゲン架橋-テロペプチド- β 異性体： β -CTX）は高値であったがそれ以降では差がなく、骨形成マーカーも差がなかったと報告している。Guillemantらは80% VO_{2max} での60分間の自転車エルゴメーターでの運動後にBAPは変化しなかったが血清CTXが上昇したと報告しており⁽¹²⁾、運動強度が高い有酸素運動の急性な反応として骨吸収のみを促進させる可能性が考えられる。しかし、本研究では骨吸収のみが促進されているものの運動強度が低いランニングにおいて変化がみられており先行研究とは異なる結果を示した。この違いは先行研究では運動継続時間を統一しているのに対して本研究では走行距離を統一したことにより運動継続時間が長くなったことが影響しているかもしれない。先行研究において有酸素運動そのものが骨代謝回転に影響することが示唆されている⁽¹¹⁾。本研究では55% vVO_{2max} の速度において約8分間運動持続時間が長かった。そのためより有酸素運動に従事していた時間が長ければその影響をより多く受けている可能性が考えられる。また、ランナーの運動強度と骨代謝の関係を検討したHamano⁽¹³⁾らは高強度・短時間・間欠的運動（HIIT）は骨吸収を亢進させる副甲状腺ホルモン（PTH）が上昇しない運動であると報告した。80% vVO_{2max} でのランニングはHIITに近いランニングであることから骨吸収が亢進しない運動であった可能性が示唆される。本研究より骨代謝回転を亢進させない、骨量獲得を目的としたランニングには短時間かつ速い速度でのランニングが適していると考えられる。

本研究では速度によりランニング時の床反力に違いが生じることを想定して2種類の速度を設定した。本研究で採用した80% vVO_{2max} はレースよりは遅いが日常的なトレーニングで設定している速度に近い。一方で55% vVO_{2max} は対象者が日ごろ行うランニングより非常に遅い速度であった。これらの速度間は運動強度に違いがあるにも関わらず床反力に有意差は認められなかった。ランニングにおける床反力の上下方向成分が小さいことがランニングエコノミーによる影響を与える要因である⁽¹⁴⁾。本研究での被験者は日ごろからランニングを行っていたため習熟しており、床反力の上下方向

成分を吸収する走りができていた可能性がある。

本研究にはいくつかの限界点がある。1 つ目は走行時の力学的負荷を腰部に装着した加速度計により取得した重心加速度より算出したことである。骨代謝マーカーは全身の骨代謝回転の状態をリアルタイムに反映することから、全身に加わる力学的負荷として重心加速度から床反力を算出した。しかし、藤井らは膝関節屈曲により着地時の腰部上下方向の加速度を減じることができると報告している⁽¹⁷⁾。着地衝撃を下腿に装着した加速度によって評価した先行研究⁽¹⁸⁻²⁰⁾とは条件が異なるため比較することはできないが、下腿装着時よりも加速度は小さく、純粋な着地衝撃を反映していない可能性が考えられる。2 つ目は接地パターンを統制できなかったことである。前足部接地では後足部接地に比べて着地衝撃が小さいこと^(21,22)、接地パターンは速度の影響を受けることがわかっている⁽²³⁾。本研究では速度により接地パターンが変化した対象者はいなかったものの、6 名中 2 名が後足部接地であり 4 名が前足部もしくは中足部接地であった。今後は接地パターンを考慮したプロトコル設定が必要である。

5. 結論

ランニング習慣のある男性において、異なる 2 種類の速度 (55% vVO₂max, 80% vVO₂max) における運動後 48 時間までの骨代謝マーカーの変化を検討した。2 群間の比較では骨吸収マーカーである TRACP-5b の運動開始前のみ 80% vVO₂max が有意に高値だった。また 55% vVO₂max の速度においてのみランニング運動前後に変化が認められ、運動後 24 時間時点と 48 時間時点では運動前、運動直後、運動後 1 時間時点と比較し TRACP-5b が有意に高値だった。骨代謝回転の側面から考えると速度の遅いランニングを継続的に行うと骨吸収が亢進する高骨代謝回転になり、uncoupling な骨リモデリングとなる可能性がある。

6. 謝辞

本研究の遂行にあたり、研究助成を賜りました公益財団法人ミズノスポーツ振興財団に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

1. 渡辺友紀子, 大島博, 水野廉, 関口千春. 骨量減少に対する予防的薬剤投与・抵抗トレーニングの有用性の検証. 宇宙航空研究開発機構特別資料: 国際共同ベッドレスト実験成果報告書. jaxa.repo.nii.ac.jp; 2006;12-25.
2. Karlsson MK, Vergnaud P, Delmas PD, Obrant KJ. Indicators of bone formation in weight lifters. *Calcif. Tissue Int. Springer*; 1995 Mar;56(3):177-80.
3. Nishiyama S, Tomoeda S, Ohta T, Higuchi A, Matsuda I. Differences in basal and postexercise osteocalcin levels in athletic and nonathletic humans. *Calcif. Tissue Int. Springer*; 1988 Sep;43(3):150-4.

4. Bell NH, Godsen RN, Henry DP, Shary J, Epstein S. The effects of muscle-building exercise on vitamin D and mineral metabolism. *J. Bone Miner. Res.* Wiley; 1988 Aug;3(4):369–73.
5. Tsuzuku S, Ikegami Y, Yabe K. Effects of high-intensity resistance training on bone mineral density in young male powerlifters. *Calcif. Tissue Int.* 1998 Oct;63(4):283–6.
6. Barrack MT, Fredericson M, Tenforde AS, Nattiv A. Evidence of a cumulative effect for risk factors predicting low bone mass among male adolescent athletes. *Br. J. Sports Med.* bjsm.bmj.com; 2017 Feb;51(3):200–5.
7. 初雁晶子, 鳥居俊. 大学生男子長距離走選手における疲労骨折発生に関する実態調査. *日本臨床スポーツ医学会誌* [Internet]. rinspo.jp; 2018; Available from: <https://www.rinspo.jp/journal/2010/files/26-3/390-396.pdf>
8. Warden SJ, Burr DB, Brukner PD. Stress fractures: pathophysiology, epidemiology, and risk factors. *Curr. Osteoporos. Rep.* Springer; 2006 Sep;4(3):103–9.
9. Scofield KL, Hecht S. Bone health in endurance athletes: runners, cyclists, and swimmers. *Curr. Sports Med. Rep.* journals.lww.com; 2012 Nov;11(6):328–34.
10. Banfi G, Lombardi G, Colombini A, Lippi G. Bone metabolism markers in sports medicine. *Sports Med.* 2010 Aug 1;40(8):697–714.
11. Scott JPR, Sale C, Greeves JP, Casey A, Dutton J, Fraser WD. The role of exercise intensity in the bone metabolic response to an acute bout of weight-bearing exercise. *J. Appl. Physiol.* journals.physiology.org; 2011 Feb;110(2):423–32.
12. Guillemant J, Accarie C, Peres G, Guillemant S. Acute effects of an oral calcium load on markers of bone metabolism during endurance cycling exercise in male athletes. *Calcif. Tissue Int.* Springer; 2004 May;74(5):407–14.
13. Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA.* jamanetwork.com; 1968 Jan 15;203(3):201–4.
14. Grant S, Corbett K, Amjad AM, Wilson J, Aitchison T. A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *Br. J. Sports Med.* bjsm.bmj.com; 1995 Sep;29(3):147–52.
15. Hamano J, Shimizu T, Tsuji K, Kohrt WM, Tabata I. Effects of exhaustive high-intensity intermittent exercise on serum parathyroid hormone. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine.* jstage.jst.go.jp; 2021;10(3):129–37.
16. Chang YH, Huang HW, Hamerski CM, Kram R. The independent effects of gravity and inertia on running mechanics. *J. Exp. Biol.* journals.biologists.com; 2000 Jan;203(Pt 2):229–38.
17. 藤井絵里, 浦辺幸夫, 山中悠紀, 櫻井友貴. ジャンプ着地時の体幹加速度と膝屈曲角度から見るバレエダンサーと未経験者の違い. *体力科学.* jstage.jst.go.jp; 2011;60(1):133–8.
18. Raper DP, Witchalls J, Philips EJ, Knight E, Drew MK, Waddington G. Use of a tibial accelerometer to measure ground reaction force in running: A reliability and validity comparison with force plates. *J. Sci. Med. Sport.* Elsevier; 2018 Jan;21(1):84–8.
19. Elvin NG, Elvin AA, Arnoczky SP. Correlation between ground reaction force and tibial acceleration in vertical jumping. *J. Appl. Biomech.* journals.humankinetics.com; 2007 Aug;23(3):180–9.
20. 大坂裕, 新小田幸一, 渡邊進, 藤田大介, 石田弘, 小原謙一, 吉村洋輔, 伊藤智崇. 歩行分析における加速度計の適切な装着部位の設定—床反力特性値による検討—. *メカニズム学会誌* [Internet]. jstage.jst.go.jp; 2012; Available from:

https://www.jstage.jst.go.jp/article/sobim/36/2/36_111/_article/-char/ja/

21. Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA, Daoud AI, D'Andrea S, Davis IS, Mang'eni RO, Pitsiladis Y. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature*. nature.com; 2010 Jan 28;463(7280):531–5.
22. Laughton CA, Davis IM, Hamill J. Effect of Strike Pattern and Orthotic Intervention on Tibial Shock during Running. *J. Appl. Biomech. Human Kinetics, Inc.*; 2003 May 1;19(2):153–68.
23. Breine B, Malcolm P, Frederick EC, De Clercq D. Relationship between running speed and initial foot contact patterns. *Med. Sci. Sports Exerc.* europepmc.org; 2014 Aug;46(8):1595–603.

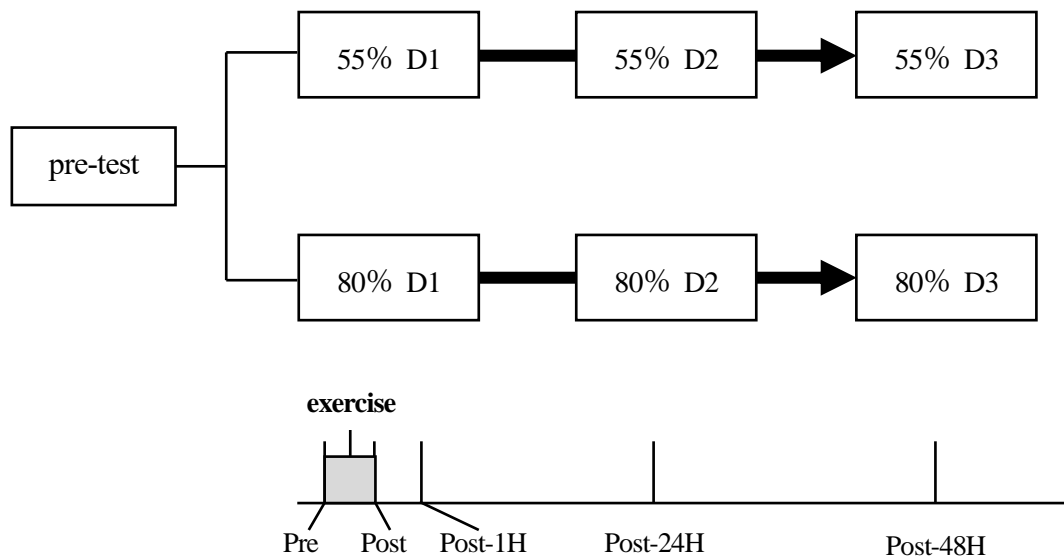


Figure 1. 実験プロトコル

55%, 80%; 55% vVO_{2max} , 80% vVo_{2max} , D1, D2, D3; Day1, Day2, Day3.

対象者は pre-test 後, 遅い速度での試行 (55% vVO_{2max}) と速い速度での試行 (80% vVO_{2max}) を 3 日間ずつ実施した. 運動前に採血を実施し (Pre), ウォーミングアップ後 5 km のランニングを行った. 終了直後 (Post) と 1 時間後 (Post-1H) に採血を実施した. 2 日目 (Post-24H), 3 日目 (Post-48H) にも採血を実施した. 2 試行の実施順序はランダムに選択した.

Table 1. 対象者の身体的特徴

	median	IQ 25–50	
age (y)	20.0	19.3	– 22.3
height (cm)	170.7	169.4	– 172.5
weight (kg)	63.6	58.2	– 67.0

Table 2. 設定した速度情報

	55% vVO ₂ max				85% vVO ₂ max				<i>p</i>
	median	IQ 25–75			median	IQ 25–75			
total time (min)	32.6	30.8	–	34.1	24.9	23.3	–	26.3	0.031*
speed (km/h)	9.3	8.9		9.9	12.5	11.8		13.3	0.031*
HR (bpm)	134	120	–	151	162	140	–	167	0.031*
RPE	11	10	–	12	14	13	–	15	0.058 †
total foot strike frequency (n)	5165	4771	–	5511	4094	3848.3	–	4283.5	0.031*
ground reaction force (N)	1776.7	1577.0	–	1942.1	1961.1	1797.7	–	2153.4	0.563

*: $p < 0.05$, †: $p < 0.1$

total time; 走行した総時間, HR; 心拍数, RPE; 終了時点の自覚的運動強度, total foot strike frequency; 総接地回数

Table 3. 血中指標の各時点での群間比較

	55% VO2max			80% VO2max			<i>p</i>
	median	IQ 25–50		median	IQ 25–50		
C (µg/dL)							
Pre	18.0	16.3	– 21.9	16.0	12.9	– 16.7	0.688
Post	11.9	11.1	– 14.4	14.3	12.6	– 17.1	0.438
Post-1H	12.9	10.8	– 14.1	10.6	8.8	– 11.5	1.000
Post-24H	12.8	11.6	– 14.4	17.2	14.6	– 18.5	0.219
Post-48H	13.0	10.6	– 14.5	14.1	11.7	– 16.1	0.563
E ₂ (pg/mL)							
Pre	21.9	18.2	– 25.2	24.4	19.0	– 31.1	0.418
Post	25.2	22.7	– 28.8	25.0	23.0	– 28.2	0.563
Post-1H	20.3	17.8	– 25.4	24.7	22.7	– 31.7	0.156
Post-24H	25.0	13.6	– 30.1	27.3	18.9	– 36.9	0.313
Post-48H	15.8	11.2	– 18.9	21.2	18.5	– 24.7	0.563
T (pg/mL)							
Pre	12.5	12.3	– 14.7	11.9	11.2	– 13.7	1.000
Post	15.9	13.6	– 17.0	16.3	14.0	– 20.4	0.688
Post-1H	14.1	13.8	– 16.0	11.2	10.2	– 20.3	1.000
Post-24H	10.9	10.2	– 11.2	13.4	11.8	– 14.5	0.106
Post-48H	10.3	9.5	– 13.1	9.8	9.3	– 10.5	1.000
TRACP-5b (mU/dL)							
Pre	343.0	308.3	– 560.0	389.5	345.0	– 644.0	0.031*
Post	361.0	323.5	– 544.0	413.5	352.5	– 668.0	0.063
Post-1H	367.0	330.5	– 549.8	398.0	343.8	– 666.8	0.063
Post-24H	414.5	391.0	– 664.5	388.0	362.0	– 648.8	0.313
Post-48H	418.0	352.0	– 616.8	382.5	355.3	– 679.8	0.916
BAP (µg/L)							
Pre	16.4	13.6	– 20.2	14.6	13.6	– 17.2	0.563
Post	16.9	14.1	– 18.5	14.7	14.5	– 19.0	0.563
Post-1H	16.4	13.4	– 18.6	15.0	13.7	– 20.2	1.000
Post-24H	16.0	14.3	– 17.8	15.0	13.3	– 18.6	1.000
Post-48H	15.7	14.6	– 17.2	14.5	13.8	– 18.2	0.438

*: $p < 0.05$ C; コルチゾール, E₂; エストラジオール, T; 遊離テストステロン, TRACP-5b; 酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ-5b, BAP; 骨型アルカリフォスファターゼ

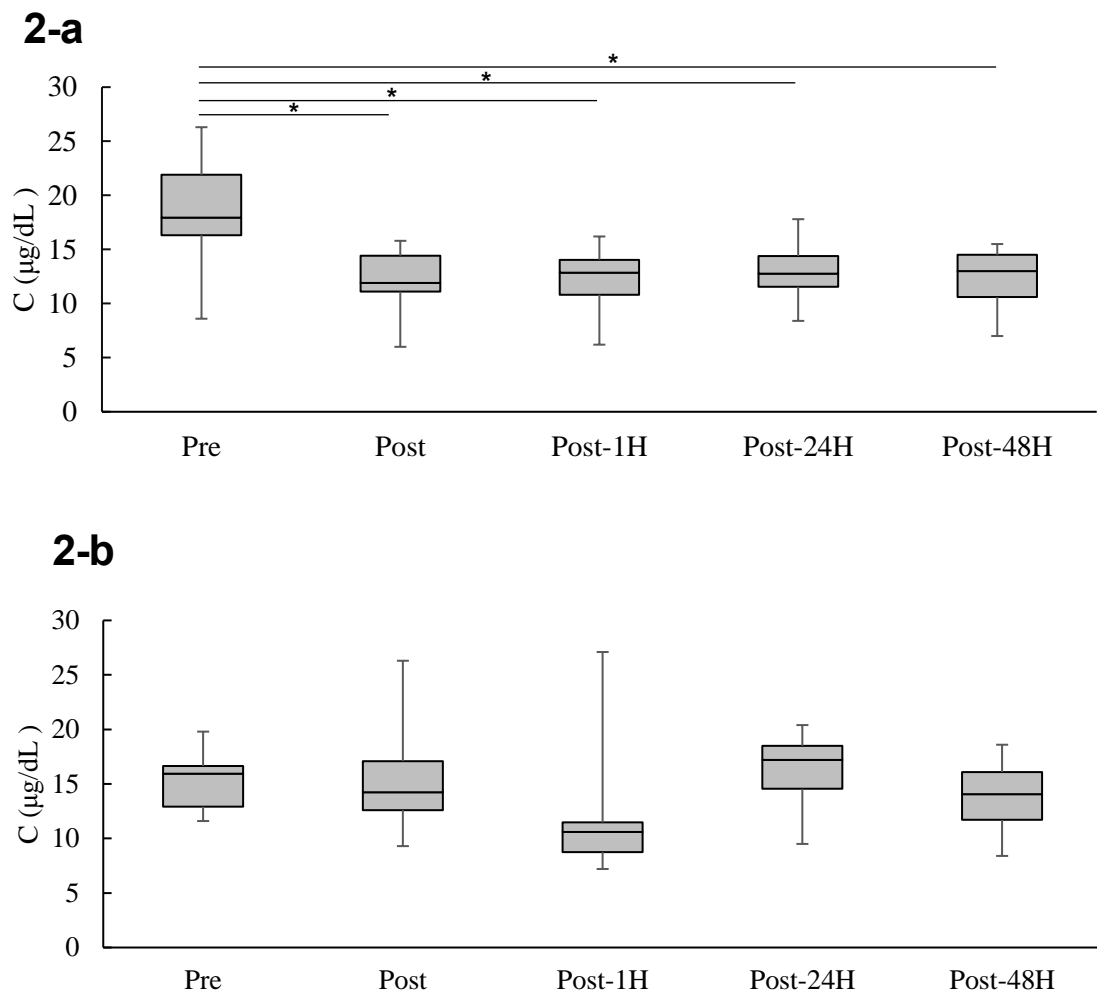


Figure 2. コルチゾール (C) の変化

*: $p < 0.05$

2-a; 55% $v\dot{V}O_2\max$, 2-b; 80% $v\dot{V}O_2\max$

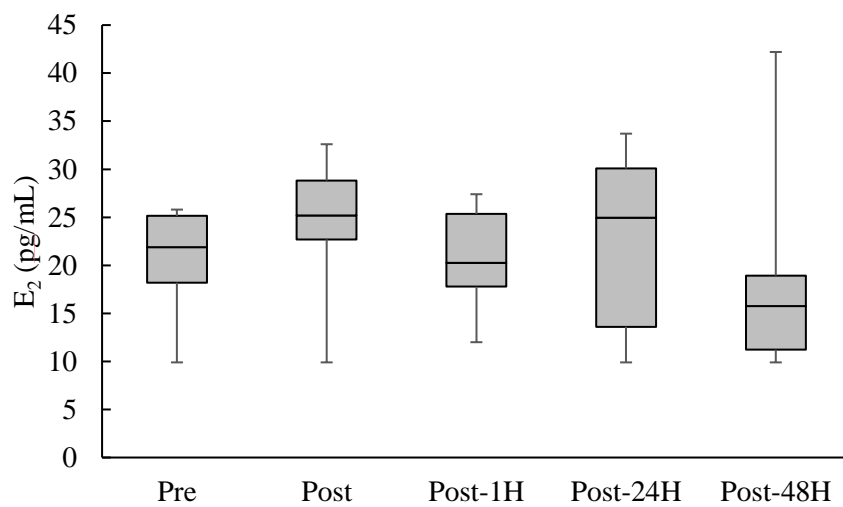
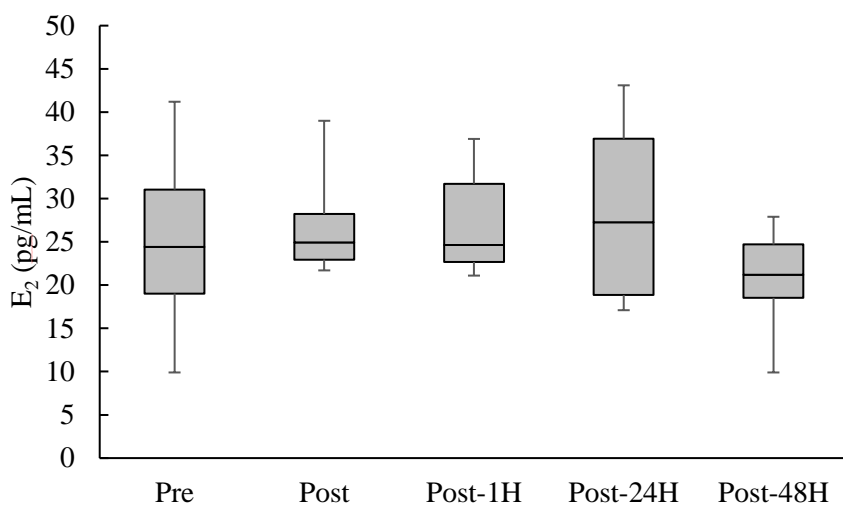
3-a**3-b**

Figure 3. エストラジオール (E_2) の変化
3-a; 55% vVO_{max} , 3-b; 80% vVO_{max}

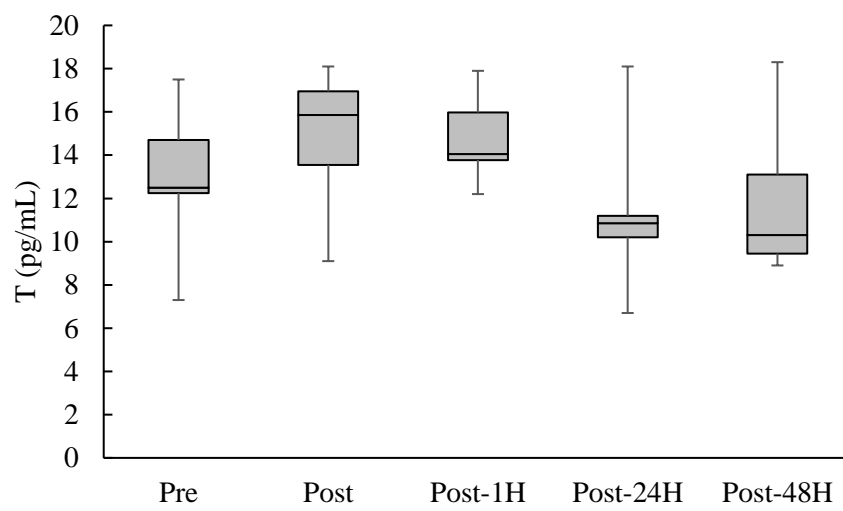
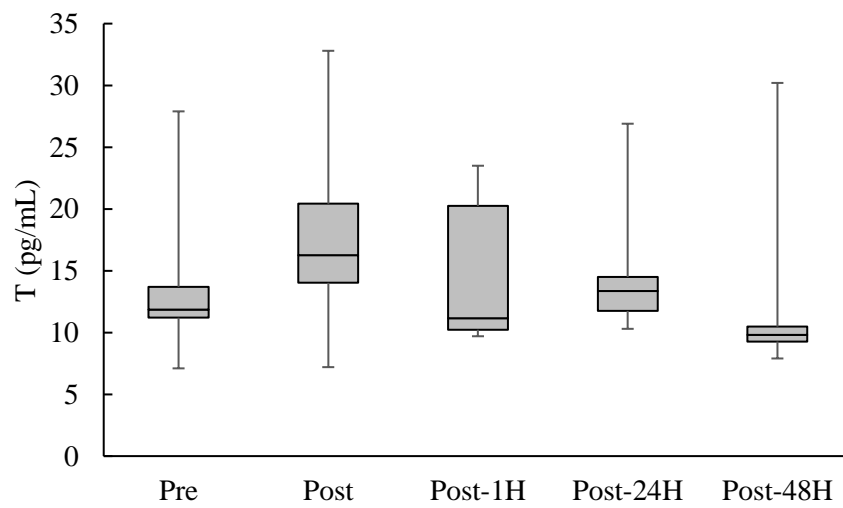
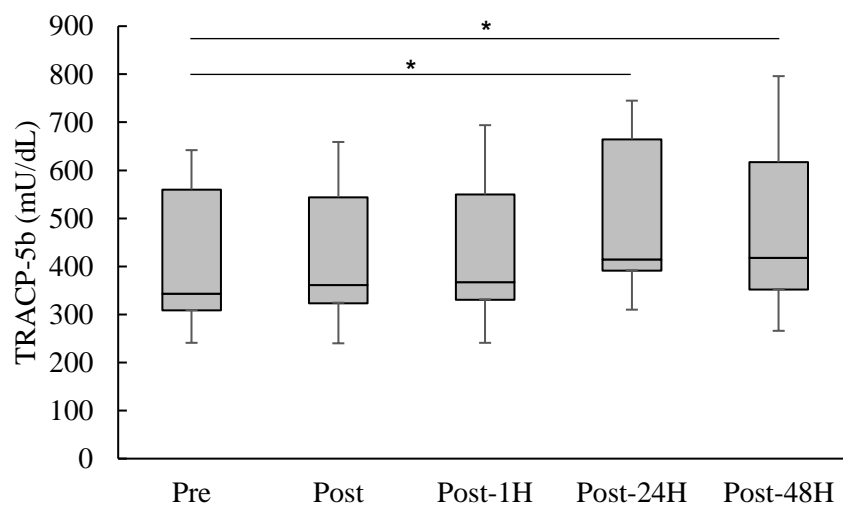
4-a**4-b**

Figure 4. 遊離テストステロン (T) の変化
4-a; 55% vVO,max, 4-b; 80% vVO,max

5-a



5-b

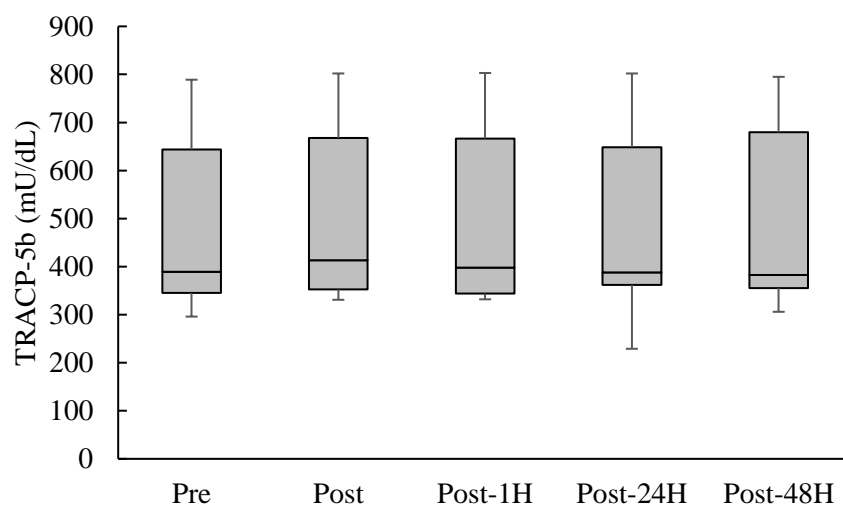


Figure 5. 骨吸収マーカー (TRACP-5b) の変化

*: $p < 0.05$ 5-a; 55% vVO_{2max} , 5-b; 80% vVO_{2max}

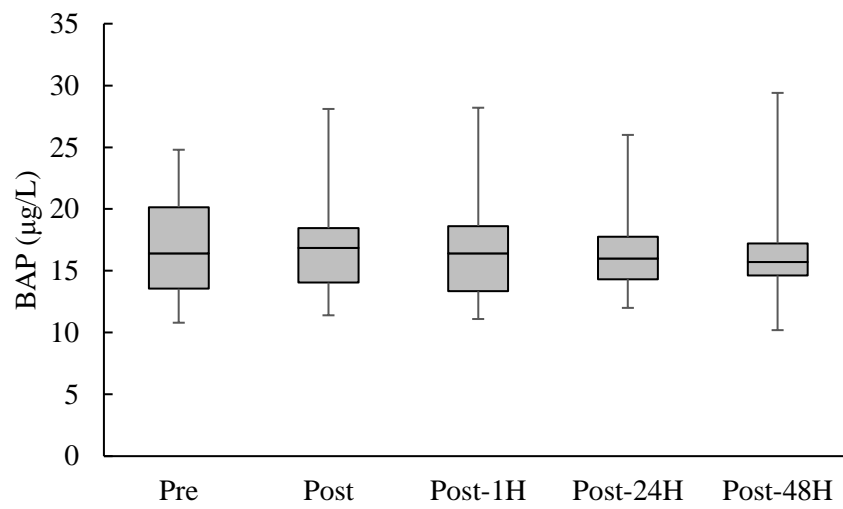
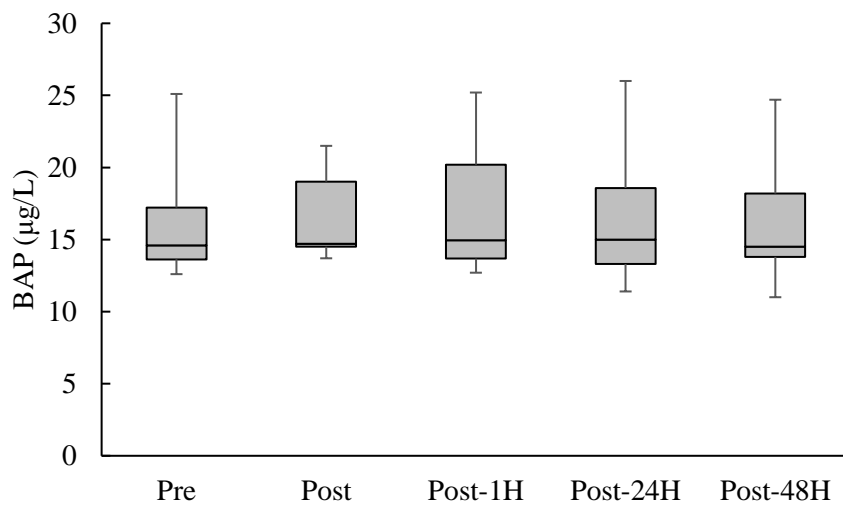
6-a**6-b**

Figure 6. 骨形成マーカー (BAP) の変化
6-a; 55% vVO_{2max} , 6-b; 80% vVO_{2max}