

## **Effectiveness of body weight-based functional training on clinical biomarkers: Monitoring biological age estimated with the Klemera-Doubal model in women and men**

**Zahra Arab Taheri Zadeh**<sup>1</sup> 0000-0001-9466-5756, **Amir nejadvaziri Chatroudi**<sup>1</sup> 0000-0002-3636-9876, **Zohre Hasan Fakhrebadi**<sup>2</sup> 0009-0005-0965-3547, **Rohollah Yousefpour**<sup>3</sup> 0000-0001-9931-2538, **Mahla Mohammad Hasani Jour**<sup>4</sup> 0009-0004-1806-0332, **Valiollah Dabidi Roshan**<sup>5,6\*</sup> 0000-0002-2202-7349

<sup>1</sup> Ph.D. Student in Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

<sup>2</sup> MSc in Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

<sup>3</sup> Associate Professor at Department of Computer Science, Faculty of Computer Science, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

<sup>4</sup> Bachelor of Physical Education, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

<sup>5</sup> Professor at Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

<sup>6</sup> Professor at Health and Sport Performance Research Center, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

**Background and Aim:** Aging reduces physical function and increases the risk of chronic diseases, disability, and mortality. Although chronological age (CA) is widely used as an indicator of aging and mortality, biological age (BA) may provide a more accurate assessment of healthy lifespan and physiological aging (6-4). Among various approaches for estimating BA, the Klemera–Doubal Method (KDM) is recognized as one of the most accurate methods for assessing biological aging and predicting mortality risk (7, 15, 24). Evidence suggests that healthy lifestyle behaviors, including balanced nutrition and regular physical activity, improve metabolic, immunological, and physical function and may consequently reduce BA (10, 8-13). Therefore, the present study aimed to investigate the effectiveness of 40 sessions of high-intensity functional training (HIFT) on the modulation of biological age in women and men and to compare sex-specific responses to this intervention.

**Materials and Methods:** Data from 600 healthy men and women were used to train the KDM model and extract the coefficients according to previously reported procedures (11, 15, 16). One hundred healthy individuals with an average age of 57 years and body weight of 80 kg were selected and randomized into control and HIFT groups. Participants were matched based on age, body mass index (BMI), fasting glucose, HbA1c, weekly physical activity, and grip strength before allocation. The HIFT protocol was designed based on previous HIFT recommendations with modifications (17, 18). Participants in the control group received nutritional guidelines, whereas the HIFT group completed a 40-session training program combined with the same nutritional recommendations. Nutritional recommendations were based on caloric restriction and healthy dietary guidelines reported in previous studies (11, 15). Cardiometabolic biomarkers were measured using standard

---

\* **Corresponding Author Address:** Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. Email: v.dabidi@umz.ac.ir

laboratory methods, and biological age was estimated using KDM before and after the intervention. Data were analyzed using t-tests and the Pearson correlation coefficient at  $p \leq 0.05$  level.

**Findings:** Compared with the control group, HIFT significantly reduced biological age in both women and men ( $p=0.001$ ). Biological age decreased by 0.60 years in women and 0.71 years in men following HIFT (both  $p=0.001$ ), whereas only non-significant reductions were observed in the control group. According to the table 1, compared with the control group, HIFT resulted in significant reductions in body weight (women:  $p=0.03$ ; men:  $p=0.007$ ), waist circumference (women and men:  $p=0.001$ ) and diastolic blood pressure (women:  $p=0.002$ ; men:  $p=0.001$ ), and significant increases in total protein (women:  $p=0.03$ ; men:  $p=0.02$ ) and hemoglobin (women:  $p=0.001$ ; men:  $p=0.01$ ) in both sexes. While women exhibited significant reductions in BMI ( $p=0.01$ ), insulin ( $p=0.003$ ), and triglyceride ( $p=0.001$ ) along with significant increases in high-density lipoprotein cholesterol ( $p=0.001$ ), urinary creatinine ( $p=0.01$ ), and dominant handgrip strength ( $p=0.001$ ). In addition, men showed significant reductions in BMI ( $p=0.008$ ), hematocrit ( $p=0.05$ ), C-reactive protein ( $p=0.01$ ), and blood urea nitrogen ( $p=0.001$ ), together with a significant increase in forced vital capacity ( $p=0.001$ ). A comparison of intervention-induced changes showed that women experienced substantial improvements in most cardiometabolic markers after 40 sessions of HIFT. The observed pattern of changes suggests that HIFT may contribute to a reduction in biological age in women through improvements in BMI, metabolic health, and muscular function. Furthermore, comparison of the percentage changes in biomarkers between the two groups demonstrated that HIFT combined with dietary guidance produced widespread improvements in cardiometabolic health among men. This pattern supports the notion that HIFT may attenuate and reduce biological age in men through improvements in metabolic and body composition indices, as well as enhancements in respiratory function, inflammatory status, and muscular performance.

**Table 1. Descriptive statistics results of cardiometabolic variables and other clinical and laboratory indicators in the intervention and control groups, and their comparison in women and men.**

Variables	Women (Mean $\pm$ SD)			Men (Mean $\pm$ SD)		
	Functional Interval Training Group	Control Group	p value	Functional Interval Training Group	Control Group	p value
Biological age (years)	-0.60 $\pm$ 0.04	-0.06 $\pm$ 0.34	0.009 <sup>§</sup>	-0.71 $\pm$ 0.66	-0.06 $\pm$ 0.34	<b>0.001<sup>§</sup></b>
Body weight (kg)	-2.34 $\pm$ 2.70	-2.80 $\pm$ 10.10	0.03 <sup>§</sup>	-2.42 $\pm$ 1.90	-2.80 $\pm$ 10.10	<b>0.007<sup>§</sup></b>
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	-0.94 $\pm$ 3.57	-2.70 $\pm$ 3.40	0.01 <sup>§</sup>	-0.81 $\pm$ 0.61	-2.70 $\pm$ 3.40	<b>0.008<sup>§</sup></b>
Waist circumference (cm)	-2.32 $\pm$ 0.44	0.56 $\pm$ 1.90	0.001 <sup>§</sup>	-2.66 $\pm$ 2.80	0.56 $\pm$ 1.90	<b>0.001<sup>§</sup></b>
Systolic blood pressure (mmHg)	-5.24 $\pm$ 2.60	-6.30 $\pm$ 6.60	0.09	-6.70 $\pm$ 3.60	-6.30 $\pm$ 6.60	0.83
Diastolic blood pressure (mmHg)	-5.64 $\pm$ 0.40	0.04 $\pm$ 3.97	0.002 <sup>§</sup>	-5.47 $\pm$ 6.50	0.04 $\pm$ 3.97	<b>0.001<sup>§</sup></b>
Fasting glucose (mg/dL)	-7.15 $\pm$ 12.90	-22.20 $\pm$ 42.90	0.71	-19.84 $\pm$ 13.65	-22.20 $\pm$ 42.90	0.82

Insulin ( $\mu\text{U/mL}$ )	$-2.13 \pm 0.07$	$-0.25 \pm 0.75$	0.003 <sup>§</sup>	$-0.74 \pm 3.99$	$-0.25 \pm 0.75$	0.54
High density lipoprotein cholesterol (mg/dL)	$3.96 \pm 0.47$	$0.212 \pm 2.60$	0.001 <sup>§</sup>	$3.08 \pm 8.88$	$0.212 \pm 2.60$	0.10
Triglycerides (mg/dL)	$-29.08 \pm 0.60$	$-53.15 \pm 66.30$	0.001 <sup>§</sup>	$-43.53 \pm 45.72$	$-53.15 \pm 66.30$	0.55
Albumin (g/dL)	$-0.011 \pm 0.016$	$-0.03 \pm 0.11$	0.53	$-0.086 \pm 0.16$	$-0.03 \pm 0.11$	0.21
Total protein (g/dL)	$0.16 \pm 0.02$	$-0.10 \pm 0.44$	0.03 <sup>§</sup>	$0.18 \pm 0.40$	$-0.10 \pm 0.44$	<b>0.02<sup>§</sup></b>
Blood urea nitrogen (mg/dL)	$-4.03 \pm 3.14$	$-0.14 \pm 1.03$	0.52	$-1.77 \pm 1.35$	$-0.14 \pm 1.03$	<b>0.001<sup>§</sup></b>
Urinary creatinine (mg/dL)	$0.033 \pm 0.13$	$-0.006 \pm 0.19$	0.01 <sup>§</sup>	$0.08 \pm 0.17$	$-0.006 \pm 0.19$	0.07
Hemoglobin (g/dL)	$-0.40 \pm 0.016$	$-0.09 \pm 0.64$	0.001 <sup>§</sup>	$0.33 \pm 0.49$	$-0.09 \pm 0.64$	<b>0.01<sup>§</sup></b>
Hematocrit (%)	$-0.72 \pm 0.07$	$-0.47 \pm 1.54$	0.06	$-1.39 \pm 1.70$	$-0.47 \pm 1.54$	<b>0.05<sup>§</sup></b>
C-reactive protein (mg/L)	$-0.12 \pm 0.54$	$-0.05 \pm 1.34$	0.24	$-1.04 \pm 1.59$	$-0.05 \pm 1.34$	<b>0.01<sup>§</sup></b>
Forced vital capacity (mL)	$150.16 \pm 10.96$	$-463.16 \pm 89.77$	0.46	$586.60 \pm 878.34$	$-463.16 \pm 89.77$	<b>0.001<sup>§</sup></b>
Dominant handgrip strength (kg)	$2.64 \pm 0.04$	$-0.16 \pm 1.02$	<b>0.001<sup>§</sup></b>	$3.76 \pm 4.94$	$-0.16 \pm 1.02$	<b>0.001<sup>§</sup></b>

§ indicator of significant difference between control & experimental groups at  $p \leq 0.05$ .

**Conclusion:** This study demonstrated that regular HIFT combined with nutritional guidance decreases biological age in both sexes by improving cardiometabolic, functional, and clinical biomarkers. The findings indicate that biological age can be reduced in men and women following a structured exercise and nutrition program. These results support the importance of integrating regular physical activity with healthy dietary habits to promote healthy aging. These findings are consistent with previous evidence indicating that exercise and healthy lifestyle interventions improve cardiometabolic health and biological aging markers. Overall, the observed reduction in BA appears to be mediated through improvements in body composition, metabolic health, inflammatory status, respiratory function, and muscular performance. Future studies should investigate the effects of other lifestyle factors, such as antioxidant supplementation, smoking, and alcohol consumption, on KDM-derived biological age and artificial intelligence-based aging models.

**Keywords:** High-intensity functional training, Caloric restriction, Biological age, Aging, Quality of life

**Ethical Considerations:** This study was approved by the Iran National Committee for Ethics in Biomedical Research (Code: IR.UMZ.REC.1402.027).

**Compliance with Ethical Guidelines:** All participants provided informed consent after receiving complete information about the study procedures.

**Funding:** This work is based upon research funded by the Iran National Science Foundation (INSF) under project No. 4039571

**Conflicts of interest:** The authors declare no conflicts of interest.



## اثر بخشی تمرینات فانکشنال بر پایه وزن بدن بر بیومارکرهای بالینی: پایش سن بیولوژیک بر آورد شده با مدل کلمرا- دوبال در زنان و مردان

زهرا عرب طاهری زاده<sup>۱</sup>، امیر نژاد وزیر پرتو<sup>۱</sup>، زهره حسن فخر آبادی<sup>۲</sup>، روح اله یوسف پور<sup>۳</sup>، مهلا محمد حسنی جور<sup>۴</sup>، ولی اله دبیدی روشن<sup>۵،۶</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترا فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار گروه علوم کامپیوتر، دانشکده علوم کامپیوتر، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

<sup>۴</sup> کارشناسی تربیت بدنی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

<sup>۵</sup> استاد گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

<sup>۶</sup> استاد مرکز تحقیقات سلامت و عملکرد ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** پیری با افزایش خطر بیماری‌های کاردیومتابولیک همراه است. سن بیولوژیک شاخصی برای ارزیابی وضعیت سالمندی سالم و حفظ کیفیت زندگی می‌باشد. هدف مطالعه حاضر بررسی اثر بخشی ۴۰ جلسه تمرینات تناوبی فانکشنال (HIFT) بر تعدیل سن بیولوژیکی زنان و مردان بود. **روش تحقیق:** برای آموزش مدل و استخراج ضرایب کلمرا-دوبال (KDM) از داده‌های ۶۰۰ زن و مرد سالم استفاده شد. ۱۰۰ فرد سالم حائز شرایط با میانگین وزن ۸۰ کیلوگرم و سن ۵۷ سال و به دو گروه HIFT و کنترل تقسیم شدند. پروتکل HIFT ۴۰ جلسه‌ای با رعایت اصل اضافه بار انجام شد. شاخص‌های کاردیومتابولیک به روش استاندارد آزمایشگاهی و سن بیولوژیک به روش KDM قبل و بعد از ۴۰ جلسه مداخله اندازه‌گیری شد. برای تحلیل داده‌ها از آزمون‌های t و همبستگی پیرسون در سطح  $p \leq 0/05$  استفاده شد. **یافته‌ها:** در مقایسه با گروه کنترل، HIFT در هر دو جنس موجب کاهش معنی‌دار وزن (زنان  $p=0/03$ ؛ مردان  $p=0/007$ ) دور کمر (هر دو  $p=0/001$ ) فشار خون دیاستولی (زنان  $p=0/002$ ؛ مردان  $p=0/001$ ) و افزایش معنی‌دار پروتئین تام (زنان  $p=0/03$ ؛ مردان  $p=0/02$ ) و هموگلوبین (زنان  $p=0/001$ ؛ مردان  $p=0/01$ ) شد. در زنان کاهش معنی‌دار شاخص توده بدن

نویسنده مسئول: استاد فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

ایمیل: v.dabidi@umz.ac.ir موبایل: ۰۹۱۱۳۱۵۱۵۰۹



( $p=0/001$ ) انسولین ( $p=0/003$ ) تری گلیسیرید ( $p=0/001$ ) و افزایش معنی دار کلسترول لیپوپروتئین پرچگال ( $p=0/001$ ) کراتینین ادرار ( $p=0/001$ ) و قدرت پنجه دست برتر ( $p=0/001$ ) مشاهده شد؛ و در مردان کاهش معنی دار شاخص توده بدن ( $p=0/008$ ) هماتوکریت ( $p=0/005$ ) پروتئین واکنشی C ( $p=0/001$ ) نیتروژن اوره خون ( $p=0/001$ ) و افزایش معنی دار ظرفیت حیاتی اجباری ( $p=0/001$ ) گزارش شد. در مقایسه با گروه کنترل، مداخله HIFT اثر مشهودی در کاهش سن بیولوژیک داشت (در زنان و مردان به گونه ای که سن بیولوژیک در مردان و زنان گروه HIFT کاهش معنی دار به ترتیب  $0/71$  و  $0/6$  سال ( $p=0/001$ ) و در گروه کنترل کاهش غیرمعنی دار به ترتیب  $0/06$  ( $p=0/30$ ) و  $0/04$  سال ( $p=0/07$ ) را نشان داد. نتیجه گیری: اجرای HIFT با دستورالعمل تغذیه ای از طریق بهبود بیومارکرهای کاردیومتابولیک موجب بهبود سن بیولوژیک هردو جنس می شود. یافته های این مطالعه اهمیت توجه به فعالیت منظم بدنی را در مدیریت فرآیند پیری برجسته میکند.

**واژه های کلیدی:** تمرینات تناوبی فانکشنال، محدودیت کالریک، سن بیولوژیک، سالمندی، کیفیت زندگی.

پایان کارشناسی ارشد در رشته ورزش و بدنسازی

## Effectiveness of body weight-based functional training on clinical biomarkers: Monitoring biological age estimated with the Klemmera-Dubal model in women and men

Zahra Arab Taheri Zadeh<sup>1</sup>, Amir nejadvaziri Chatroudi<sup>1</sup>, Zohre Hasan Fakhrabadi<sup>2</sup>, Rohollah Yousefpour<sup>3</sup>, Mahla Mohammad Hasani Jour<sup>4</sup>, Valiollah Dabidi Roshan<sup>5,6\*</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student in Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

<sup>2</sup> MSc in Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor at Department of Computer Science, Faculty of Computer Science, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

<sup>4</sup> Bachelor of Physical Education, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

<sup>5</sup> Professor at Department of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

<sup>6</sup> Professor at Health and Sport Performance Research Center, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

### Abstract

**Background and Aim:** Aging is associated with an increased risk of cardiometabolic diseases. Biological age is considered a useful indicator for evaluating healthy aging and maintaining quality of life. The present study aimed to investigate the effectiveness of 40 sessions of high-intensity functional training (HIFT) on the modulation of biological age in women and men, and to compare sex-specific responses to this intervention. **Materials and Methods:** Data from 600 healthy men and women were used to train the model and extract the Klemmera-Doubal (KDM) coefficients. 100 healthy individuals with an average weight and age of 57 years and 80 kg were divided into two HIFT and control groups. 40-session HIFT protocol was performed in accordance with the overload principle. Cardiometabolic indices were measured by standard laboratory methods, and biological age by the KDM method before and after a 40-session intervention. t-tests and Pearson correlation coefficient (at  $p \leq 0.05$  level) were used to analyze the data. **Results:** Compared with the control group HIFT resulted in significant reductions in body weight (women  $p = 0.03$ ; men  $p = 0.007$ ) waist circumference (women and men  $p = 0.001$ ) and diastolic blood pressure (women  $p = 0.002$ ; men  $p = 0.001$ ) significant increases in total protein (women  $p = 0.03$ ; men  $p = 0.02$ ) and hemoglobin (women  $p = 0.001$ ; men  $p = 0.01$ ) in both sexes. Women exhibited significant reductions in body mass index ( $p = 0.01$ ), insulin ( $p = 0.003$ ) and triglycerides ( $p = 0.001$ ) along with significant increases in high-density lipoprotein cholesterol ( $p = 0.001$ ), urinary creatinine ( $p = 0.01$ ), and dominant handgrip strength ( $p = 0.001$ ). Men also showed significant reductions in body mass index ( $p = 0.008$ ), hematocrit ( $p = 0.05$ ) C-reactive protein ( $p = 0.01$ ) blood urea nitrogen ( $p = 0.001$ ),

\* **Corresponding author:** Professor Valiollah Dabidi Roshan. Professor of Exercise Physiology, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. Email: v.dabidi@umz.ac.ir or vdabidiroshan.umz@gmail.com Phone: +989113151509; ORCID ID 0000-0002-2202-7349



together with a significant increase in forced vital capacity ( $p = 0.001$ ). Compared to the control group, the HIFT intervention had a significant effect on reducing biological age ( $p=0.001$ ) in women and men. Biological age in men and women in the HIFT group showed a significant decrease of 0.71 and 0.60 years, respectively ( $p=0.001$ ). In the control group, a non-significant decrease of 0.06 ( $p=0.30$ ) and 0.04 ( $p=0.07$ ) years. **Conclusion:** HIFT with nutritional guidance improves biological age in both sexes by improving cardiometabolic biomarkers. The findings of this study highlight the importance of paying attention to regular physical activity in managing the aging process.

**Keywords:** High-intensity functional training, Caloric restriction, Biological age, Aging, Quality of life

## مقدمه

پیری، به عنوان یک چالش جهانی، فرآیندی پیچیده و اجتناب‌ناپذیر است که موجب کاهش عملکرد و افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن و سندرم‌های سالمندی می‌شود (۱). در طی دهه اخیر توجه روزافزونی به تمایز سن تقویمی و سن بیولوژیک در ارتباط با طول عمر سالم و حفظ کیفیت زندگی در دوران سالمندی معطوف شده است. به علاوه، در سال‌های اخیر، سن بیولوژیک با استفاده از نشانگرهای زیستی به عنوان یک شاخص دقیق‌تر برای پیری بیولوژیک معرفی شده است (۲). در واقع، اختلاف بین سن بیولوژیک و پیش‌بینی شده و سن تقویمی نشان می‌دهد که افراد ممکن است سریع‌تر از همسالان خود دچار زوال مرتبط با سن شوند (۳). اگرچه سن تقویمی<sup>۱</sup> (CA) که به طور گسترده به عنوان نشانگر پیری استفاده می‌شود و قادر به پیش‌بینی عوارض و مرگ و میر است، اما ممکن است به طور دقیق نحوه عملکرد سیستمیک یک موجود زنده را توصیف نکند، و از این رو ناهمگنی زیادی در بین افراد مسن در همان سن تقویمی وجود دارد (۴). در مقابل، سن بیولوژیک<sup>۲</sup> (BA) روشی برای نمایه سازی عملکردی درجه پیری یک فرد است و ممکن است بتواند معیاری جایگزین برای سنجش افزایش طول عمر سالم ارائه دهد (۵). در واقع، سن بیولوژیک تلاش می‌کند تا با استفاده از نشانگرهای زیستی عملکردی مختلف، پیری را با دقت بیشتری مشخص کند و وضعیت سلامتی یک فرد را به تصویر بکشد و برخی از ناهمگونی‌ها در عوارض، مرگ‌ومیر و سایر پیامدها را در بین افراد هم سن تقویمی نشان دهند (۶، ۷). از این رو ارزیابی دقیق سن بیولوژیک یک فرد برای درک پیری سالم ضروری است (۳).

روش‌های متنوعی برای محاسبه سن بیولوژیک مانند روش‌های آماری کلاسیک و اخیراً روش‌های مبتنی بر مدل‌های یادگیری ماشین گزارش شده‌اند (۸). در این بین روش کلمرا و دوبال<sup>۳</sup> (KDM) از دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بوده و یکی از پرکاربردترین روش‌ها در تخمین سن بیولوژیک، پیش‌بینی مرگ و میر و وضعیت سلامت افراد نسبت به سن تقویمی می‌باشد، که با استفاده از چندین بیومارکر و وزن‌دهی متناسب با شدت هریک از آنها سن بیولوژیک را تخمین می‌زند (۸). از سوی دیگر شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد رفتارهای سبک زندگی سالم، شامل رژیم غذایی متعادل و فعالیت بدنی منظم موجب بهبود

<sup>1</sup> Chronological age

<sup>2</sup> Biological age

<sup>3</sup> Klemera–Doubal



عملکرد متابولیک، ایمنولوژیک و فیزیکی و از این رو، بهبود سن بیولوژیک و طول عمر سالم به ویژه در دوران پیری می‌شود (۹)، (۱۰). کولکولتسف<sup>۱</sup> و دیگران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به بررسی ارتباط میزان فعالیت بدنی با سن بیولوژیک پرداخته و نشان دادند که بین حجم فعالیت بدنی، سن بیولوژیک و نرخ پیری دختران ۱۸-۱۹ ساله ارتباط وجود دارد و دخترانی که فعالیت بدنی بیشتر از ۱۵۰ دقیقه در هفته داشتند نرخ پیری آنها از نوع تاخیری و سن بیولوژیکی آنها ۱/۷ سال کمتر از سن تقویمی بود (۱۱). هو<sup>۲</sup> و دیگران (۲۰۲۲) تاثیر شش و دوازده ماه رژیم و فعالیت ورزشی را بر سن بیولوژیک برآوردی به روش KDM را بررسی کردند و نشان دادند اگرچه ورزش به تنهایی منجر به کاهش معنی دار سن بیولوژیک شد، اما این تغییرات در گروهی که هم ورزش و هم رژیم غذایی را رعایت کردند بیشتر بود (۱۲). به همین ترتیب، تحقیقات اخیر که تاثیر سبک زندگی سالم بر سن بیولوژیک در جمعیت‌های چینی (۱۳)، آمریکایی (۹) و بریتانیایی (۱۴) را ارزیابی کرده اند نشان داده که پایداری به یک سبک زندگی سالم با کندتر شدن روند پیری بیولوژیکی مرتبط است. این مشاهدات این فرضیه را مطرح می‌کنند که رفتارهای سبک زندگی سالم ممکن است سرعت پیری بیولوژیکی و در نتیجه سن بیولوژیک را کاهش دهند.

علیرغم وجود شواهد مذکور، تاثیر سبک زندگی سالم با تاکید بر ۴۰ جلسه تمرینات تناوبی فانکشنال با شدت بالا<sup>۳</sup> (HIFT) همراه با دستورالعمل‌های تغذیه‌ای بر تعدیل سن بیولوژیک زنان و مردان تاکنون مورد ارزیابی و مقایسه قرار نگرفته است، این در حالی است که پایداری به تمرینات تناوبی با شدت بالا<sup>۴</sup> (HIIT) و به ویژه HIFT، در مقایسه با تمرینات تداومی با شدت متوسط<sup>۵</sup> (MICT) به دلیل برخورداری از ویژگی‌های از قبیل زمان تمرینی کوتاه، قابلیت اجرای در هر مکان و اقتصادی بودن، شبیه‌سازی الگوهای حرکتی روزمره، ماهیت درگیری همزمان گروه‌های عضلانی چند مفصلی و سایر مزایا؛ به عنوان یکی از موثرترین رویکردها جهت بهبود همزمان شاخص‌های قلبی تنفسی، هماهنگی عصبی عضلانی، قدرت عضلانی، تعادل، ترکیب بدن، حساسیت به انسولین و کاهش چربی شناخته شده است (۱۵). از این رو، فرض بر آن است که به کارگیری رویکردهای سبک زندگی از قبیل HIFT همراه با رعایت دستورالعمل‌های تغذیه‌ای، از طریق تغییر در شاخص‌هایی از قبیل فشار خون، کراتینین ادرار، گلوکز ناشتا، آلبومین سرم، پروتئین تام، نیتروژن اوره خون، تری گلیسیرید، انسولین، هموگلوبین، هماتوکریت، کلسترول لیپوپروتئین پر چگال، ظرفیت حیاتی اجباری، هندگریپ دست برتر، پروتئین واکنشی C؛ موجب تعدیل سن بیولوژیک می‌شود و بررسی این موضوع برای مداخلات و نظارت بر سلامت شخصی مورد تاکید قرار می‌دهد.

با توجه به اینکه از یک سو سالمندی با چالش‌های مرتبط با سندرم‌های سالمندی و از سوی دیگر رویکردهای غیروارویی از قبیل فعالیت‌های منظم بدنی و رعایت مبانی تغذیه‌ای با اثرات انکارناپذیر همراه است، لذا فرض بر آن است که به کارگیری این رویکردها از طریق تغییر در شاخص‌های کاردیومتابولیک موجب تعدیل سن بیولوژیک می‌شود. از این رو، این سؤال مطرح می‌شود

<sup>1</sup> Kolokoltsev

<sup>2</sup> Ho

<sup>3</sup> High-intensity functional training

<sup>4</sup> High-intensity interval training

<sup>5</sup> Moderate-intensity continuous training



که آیا با تغییر بیومارکرهای قلبی تنفسی، متابولیکی، هماتولوژیک و عملکردی منتخب از طریق اصلاح سبک زندگی شامل انجام ۴۰ جلسه HIFT همراه با رعایت دستورالعمل‌های تغذیه‌ای، می‌توان سن بیولوژیک برآوردی زنان و مردان را با استفاده از مدل کلمرا - دوبال تعدیل نمود؟

### روش تحقیق

**جمعیت مورد مطالعه:** این مطالعه از نوع نیمه تجربی بوده و توسط گروه فیزیولوژی ورزشی دانشگاه بررسی شد و پس از تخصیص کد اخلاق زیستی IR.UMZ.REC.1402.027 در سامانه ملی اخلاق پژوهش‌های زیست پزشکی و کد ۴۰۳۹۵۷۱ از بنیاد ملی علم ایران، اجرا شد. مطابق با بیانیه هلسینکی<sup>۱</sup> محققان متعهد شده‌اند کلیه ملاحظات اخلاقی از جمله رضایت آگاهانه، استفاده از تجهیزات سالم و ایمن، آزاد بودن آزمودنی از انصراف از ادامه مطالعه در هر مرحله‌ای که احساس آسیب و خطر نماید، حفظ اطلاعات فردی و عدم ورود به حریم خصوصی آزمودنی‌ها را در تمام مراحل اجرای تحقیق مورد توجه قرار دهند. پس از فراخوان طرح تحقیقاتی در کانال‌های مجازی، حداقل ۲۵۰ نفر پرسشنامه‌های غربالگری بارگذاری شده در کانال‌های مجازی شهر با تاکید بر معیارهایی از قبیل قند خون ناشتایی در محدوده ۱۰۰ تا ۱۲۵ و سطح هموگلوبین A1C در دامنه ۵/۷ تا ۶/۴ درصد، سن بین ۳۰ تا ۸۰ سال، عدم فعالیت بدنی و رژیم غذایی منظم به مدت شش ماه گذشته (براساس اطلاعات خوداظهاری حاصل از پرسشنامه‌های غربالگری)، داشتن وزن نسبتاً ثابت در یک سال قبل از شروع مطالعه (نوسان کمتر از دو کیلوگرم)، عدم استعمال دخانیات در سه ماه قبل از مطالعه و عدم مصرف الکل را تکمیل نمودند. در گام بعدی افرادی که براساس تشخیص پزشک مبتلا به بیماری‌های التهابی مزمن و کنترل نشده، نقص عضو و آسیب‌های ارتوپدی و مفصلی پیشرفته (که مانع اجرای تمرینات می‌شد) بودند، از ورود به فرایند تحقیق منع شدند (۱۲). در نهایت، ۱۸۹ نفر داوطلب واجد شرایط بودند که از بین این افراد ۱۰۰ نفر (با میانگین سنی مردان  $10/68 \pm 52/08$  سال و زنان  $11/87 \pm 51/47$  سال) انتخاب و پروتکل را به اتمام رساندند. به‌علاوه، مقرر شد افرادی که حداقل در ۸۷ درصد جلسات تمرینی بر اساس فرمول (تعداد جلسات تمرینی مورد انتظار تقسیم بر کل جلسات تمرینی ضربدر ۱۰۰) یعنی ۳۵ از ۴۰ جلسه شرکت نداشته‌اند، نیز از فرایند تحقیق کنار گذاشته شوند. تعداد نمونه مورد نیاز برای هر گروه از طریق روش تعیین حجم نمونه در پژوهش‌های مداخله‌ای محاسبه شد و با در نظر گرفتن توان آزمون ۸۰ درصد، سطح معنی‌داری  $\alpha=0/05$  و اندازه اثر مورد انتظار که بر اساس تحقیقات مشابه در زمینه تغییرات سن بیولوژیک و شاخص‌های کاردیومتابولیک به دست آمده بود، مشخص گردید. براساس فرمول محاسبه حجم نمونه برای مقایسه میانگین دو گروه مستقل و با استفاده از انحراف معیار گزارش شده در مطالعات پیشین مرتبط با تأثیر تمرینات ورزشی بر سن بیولوژیک، حداقل ۲۲ نفر برای هر گروه تخمین زده شد. با در نظر داشتن احتمال از دست دادن آزمودنی‌ها در طول دوره ۴۰ جلسه‌ای مداخله، تعداد نمونه به ۲۵ نفر در هر جنس برای هر گروه افزایش یافت تا توان آماری مطالعه حفظ شود و قابلیت تعمیم نتایج بهبود یابد (۱۲). دی‌اگرام یک مراحل انتخاب و دسته‌بندی آزمودنی‌های طرح تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> Helsinki

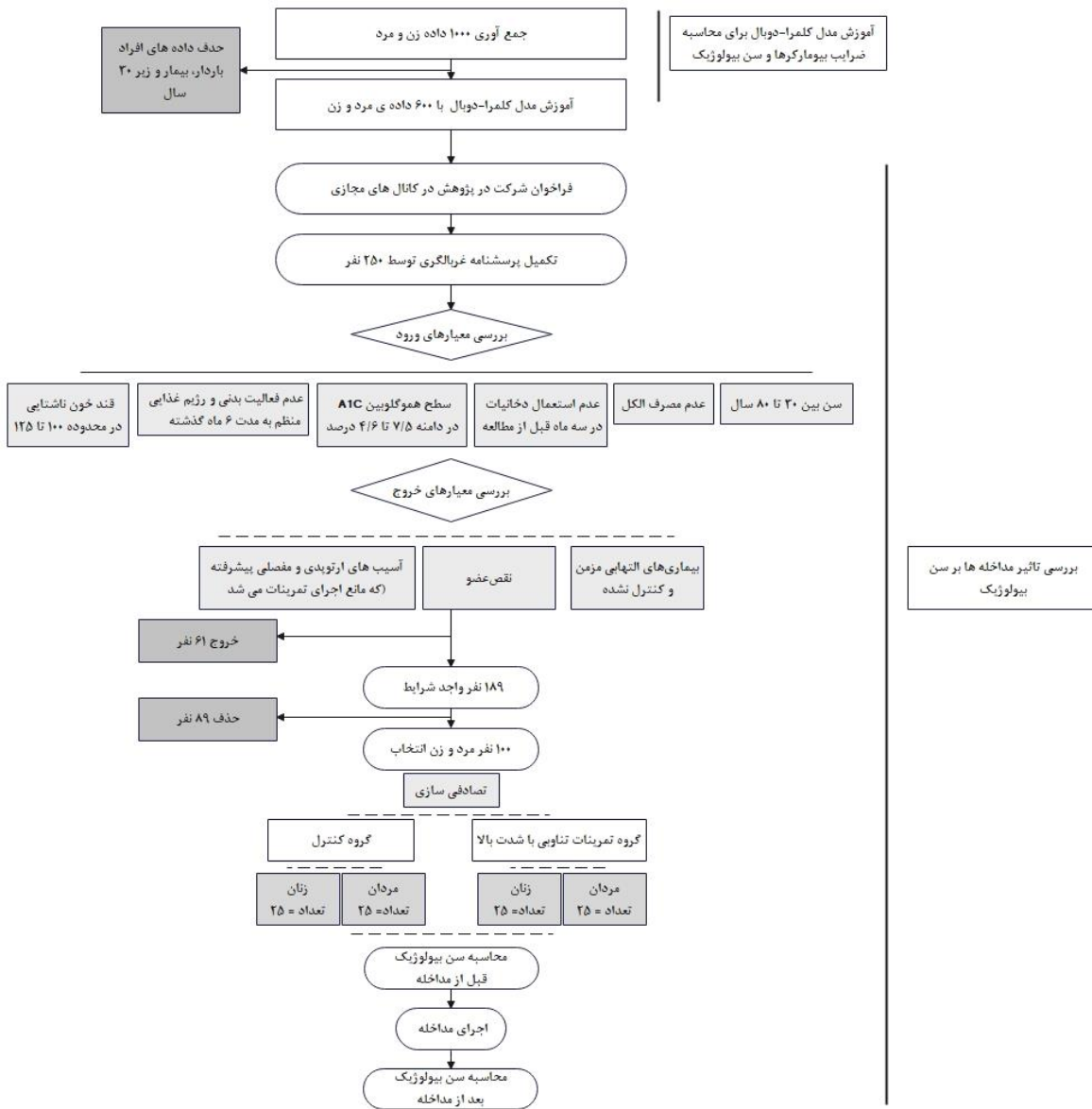


افراد منتخب به طور تصادفی ساده به شرط جایگزینی به گروه‌های مساوی مرد و زن HIFT و کنترل تقسیم شدند و هر دو گروه دستورالعمل تغذیه‌ای داده شده را رعایت کردند. این جایگزینی با هدف همگن‌سازی افراد در هر دو جنس بر مبنای معیارهایی از قبیل سن، شاخص توده بدن (BMI)، میزان قند خون ناشتایی و A1C، میزان فعالیت هفتگی و قدرت پنجه دست غیربرتر انجام شد، به گونه‌ای که افراد هر جنس در دو گروه تفاوت معنی‌داری نداشته باشند. آزمودنی‌ها قبل و بعد از مداخله ارزیابی شدند. تمامی اندازه‌گیری‌ها در شرایط استاندارد، در ساعات مشابه روز و پس از ۱۲ ساعت ناشتایی شبانه انجام شد. فشار خون با استفاده از دستگاه فشارسنج دیجیتال در وضعیت نشسته و از ورید دست راست اندازه‌گیری شد. شاخص‌های خونی با استفاده از روش‌های استاندارد آزمایشگاهی و کیت‌ها معتبر مورد سنجش قرار گرفتند. قدرت عضلانی با استفاده از آزمون قدرت پنجه دست برتر با استفاده از داینامومتر دستی اندازه‌گیری شد. بدین منظور هر آزمودنی سه بار در وضعیت ایستاده آزمون را انجام داد و میانگین سه عدد به عنوان قدرت پنجه هر فرد ثبت شد. تمام اندازه‌گیری‌ها توسط ارزیاب آموزش دیده و تحت شرایط یکسان انجام شد.

پایان انتشار ویدئو پیش نشده



# مطالعات کاربردی علوم زیستی در ورزش



شکل ۱. طرح شماتیک مراحل کلی تحقیق

سپید



پیش‌بینی سن بیولوژیک با مدل کلمرا - دوبال (KDM): برای محاسبه سن بیولوژیک از روش KDM استفاده شد. به منظور آموزش مدل و استخراج ضرایب KDM، شاخص‌های منتخب گزارش شده در مطالعه لوین<sup>۱</sup> و دیگران (۱۶) مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور، داده‌های ۱۰۰۰ زن و مرد جمع‌آوری شده از پایگاه داده NHANES پیش پردازش شده و در نهایت، داده ۶۰۰ زن و مرد سالم در سنین ۳۰ تا ۸۰ سال به عنوان مجموعه آموزشی مدل مورد استفاده قرار گرفت (۱۲). در گام نخست، برای هر یک از این بیومارک‌های اندازه‌گیری شده یک مدل رگرسیون خطی مجزا با سن تقویمی به‌عنوان متغیر مستقل اجرا شد تا پارامترهای شیب (ki)، عرض از مبدأ (qi) و واریانس خطای باقیمانده (si) برآورد گردد. تنها شاخص‌هایی که دارای رابطه معنی‌دار با سن تقویمی بودند، وارد مدل نهایی KDM شدند (۱۷).

در مرحله بعد، برای هر فرد، سن بیولوژیک وابسته به هر بیومارکر به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$BA_i = (y_i - q_i) / k_i$$

که در آن،  $y_i$  مقدار اندازه‌گیری شده بیومارکر برای هر فرد بود. سپس برای محاسبه سن بیولوژیک نهایی، مقادیر به‌دست‌آمده برای هر بیومارکر با استفاده از یک میانگین وزنی ترکیب شدند. وزن هر بیومارکر ( $w_i$ ) بر اساس توان ارتباط آن با سن تقویمی (مجذور شیب رگرسیون) و معکوس واریانس خطای باقی‌مانده آن تعیین شد. علاوه بر این، سن تقویمی نیز به‌عنوان یک متغیر مستقل در فرمول نهایی گنجانده شد تا از انحراف بیش‌از حد سن بیولوژیک نسبت به سن واقعی جلوگیری شود. در این تحلیل، تغییرات سن تقویمی به دلیل کوتاه بودن دوره مداخله ثابت و صفر در نظر گرفته شد ( $\Delta CA = 0$ )، و فرمول کلی به‌صورت زیر تعریف شد (۱۲):

$$BA = \sum (w_i \times BA_i) + w_{CA} \times CA$$

با توجه به مطالعات قبلی (۱۲)، در مطالعه حاضر نیز سن بیولوژیک شرکت‌کنندگان پیش و پس از دوره مداخله با شاخص‌های وزن<sup>۲</sup> (کیلوگرم)، شاخص توده بدنی<sup>۳</sup> (کیلوگرم بر متر مربع)، دور کمر<sup>۴</sup> (سانتی‌متر)، فشار خون سیستولیک<sup>۵</sup> و دیاستولیک<sup>۶</sup> (میلی‌متر جیوه)، کراتینین ادرار<sup>۷</sup> (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)، گلوکز ناشتا<sup>۸</sup> (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)، آلبومین سرم<sup>۹</sup> (گرم بر دسی‌لیتر)، پروتئین تام<sup>۱۰</sup> (گرم بر دسی‌لیتر)، نیتروژن اوره خون<sup>۱۱</sup> (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)، تری‌گلیسیرید<sup>۱۲</sup> (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)، انسولین<sup>۱۳</sup> (میکرو

<sup>1</sup> Levine

<sup>2</sup> Weight

<sup>3</sup> Body mass index

<sup>4</sup> Waist circumference

<sup>5</sup> Systolic blood pressure

<sup>6</sup> Diastolic blood pressure

<sup>7</sup> Urine creatinine

<sup>8</sup> Fasting blood sugar

<sup>9</sup> Serum albumin

<sup>10</sup> Total protein

<sup>11</sup> Blood urea nitrogen

<sup>12</sup> Triglyceride

<sup>13</sup> Insulin



واحد بر میلی لیتر)، هموگلوبین<sup>۱</sup> (گرم بر دسی لیتر)، هماتوکریت<sup>۲</sup> (درصد)، کلسترول لیپوپروتئین پرچگال<sup>۳</sup> (HDL) (میلی گرم بر دسی لیتر)، ظرفیت حیاتی اجباری<sup>۴</sup> (FVC) (میلی لیتر)، قدرت پنجه دست برتر<sup>۵</sup> (کیلوگرم) و پروتئین واکنشی C<sup>۶</sup> (CRP) (میلی گرم بر لیتر) محاسبه و اختلاف بین این دو مقدار به عنوان تغییرات سن بیولوژیک ( $\Delta BA$ ) در نظر گرفته شد. مقادیر  $\Delta BA$  برای مقایسه اثر مداخلات مختلف بر روند پیری زیستی استفاده گردید، به طوری که مقادیر منفی  $\Delta BA$  به عنوان کاهش سن بیولوژیک (جوان سازی زیستی) و مقادیر مثبت به عنوان افزایش سن بیولوژیک (تسریع پیری) تفسیر شدند (۱۲). در این مطالعه، تفاوت میان سن بیولوژیک و سن تقویمی به عنوان معیار ورود یا خروج آزمودنی ها لحاظ نشد، زیرا هدف اصلی تحقیق، بررسی تأثیر مداخله تمرینی بر تغییرات سن بیولوژیک بود. با توجه به پیشنهادات تحقیقات گذشته، سن بیولوژیک در مطالعات مداخله ای به عنوان متغیر نتیجه گیری کاربرد دارد و محدود کردن نمونه ها بر اساس تفاوت سن بیولوژیک و سن تقویمی، می تواند منجر به سوگیری انتخاب و کاهش توان تعمیم یافته های به دست آمده گردد. در این راستا، سن بیولوژیک و تفاوت آن با سن تقویمی در مرحله اولیه مورد اندازه گیری قرار گرفت تا همگنی گروه ها بررسی شود و به عنوان شاخص توصیفی و تحلیلی در تحلیل های آماری برای ارزیابی واکنش به مداخله مورد استفاده قرار گیرد (۶).

**تمرینات فانکشنال با شدت بالا (HIIFT):** در مطالعه حاضر از پروتکل تمرینی هرنیچ<sup>۷</sup> و دیگران (۱۸)، با اندکی اصلاحات استفاده شد. آزمودنی ها طی دو جلسه اول با نحوه اجرای صحیح حرکات تمرینی و اصول ایمنی آن آشنا شدند. پروتکل تمرینی اصلی شامل چهار نوبت چهار تا هفت و نیم دقیقه ای بود که در فازهای تمرینی مختلف متغیر بودند. جهت رعایت اصل اضافه بار نیز در هر فاز تمرینی نسبت استراحت به فعالیت تغییر کرد. نسبت استراحت به فعالیت نوبت ها در ۱۰ جلسه ابتدایی یک به دو، در ۱۰ جلسه دوم یک به دو و نیم و در ۲۰ جلسه انتهایی به صورت یک به سه اعمال شد. هر نوبت از تمرینات شامل چهار نوع حرکات دینامیک (هوازی)، قدرتی بالاتنه، قدرتی پایین تنه، قدرتی میان تنه بود. تمرینات شامل: پلانک<sup>۸</sup>، شکم روسی<sup>۹</sup>، پلانک تی ار ایکس<sup>۱۰</sup>، هالو هولد<sup>۱۱</sup>، شنای سوئدی<sup>۱۲</sup>، پای کوهنورد<sup>۱۳</sup>، ضربه به باسن<sup>۱۴</sup>، زانو بلند<sup>۱۵</sup>، نشر جانب<sup>۱۶</sup>، پشت بازو<sup>۱۷</sup>، سرشانه خم<sup>۱۸</sup>، بایسپس تی ار

<sup>1</sup> Hemoglobin

<sup>2</sup> Hematocrit

<sup>3</sup> High-density lipoprotein cholesterol

<sup>4</sup> Forced Vital Capacity

<sup>5</sup> Dominant hand grip strength

<sup>6</sup> C-reactive protein

<sup>7</sup> Heinrich

<sup>8</sup> Plank

<sup>9</sup> Russian Twist

<sup>10</sup> Plank TRX

<sup>11</sup> Hollow Body Hold

<sup>12</sup> Push-up

<sup>13</sup> Mountain Climber

<sup>14</sup> Butt Kicks

<sup>15</sup> High Knee Running

<sup>16</sup> Lateral Raise

<sup>17</sup> Triceps Extension

<sup>18</sup> Bent-over Shoulder Raise



ایکس<sup>۱</sup>، پرس بالای سر<sup>۲</sup>، گابلت اسکوات<sup>۳</sup>، لانچ<sup>۴</sup>، باکس جامپ<sup>۵</sup> و غیره بود. برای کنترل شدت تمرین، افراد به گروه‌های چهار نفره با سطح آمادگی قلبی تنفسی همخوان تقسیم شدند و هر گروه تمرینات را زیر نظر مربی و مطابق با دستورالعمل مطالعه بورگا - ماکوینهو<sup>۶</sup> و دیگران (۲۰۲۱) اجرا می‌کردند، به گونه‌ای که تمرینات با شدت ۸۵ تا ۹۵ درصد حداکثر ضربان قلب فرد تقریباً معادل هفت الی نه مقیاس ده عددی درک فشار بورگ<sup>۷</sup> (RPE) باشد (۱۹). جزئیات پروتکل تمرینات تناوبی فانکشنال در جدول یک توضیح داده شده است.

جدول ۱. پروتکل تمرینات تناوبی فانکشنال اجرا شده در مطالعه حاضر

فاز ۴		فاز ۳		فاز ۲		فاز ۱		پارامترهای تمرینی
هفته ۱۰	جلسه	جلسه	جلسه	جلسه	جلسه	جلسه	هفته ۲-۱	۴۰ جلسه در ۱۰ هفته (۴ جلسه در هفته)
جلسه ۴۰-۳۸	۳۱-۳۸	۳۰-۲۹	۲۸-۲۱	۲۰-۱۹	۱۱-۱۸	۹-۱۰	جلسه ۸-۱	
۲۸	۴۰	۲۶	۳۸	۲۶	۳۸	۲۴	۳۶	مدت زمان کل جلسه (دقیقه)
۲۲	۳۰	۲۰	۲۸	۱۸	۲۶	۱۶	۲۴	زمان خالص تمرین (دقیقه)
۶	۱۰	۶	۱۰	۸	۱۲	۸	۱۲	زمان خالص استراحت (دقیقه)
۳:۱~	۳:۱~	۳:۱~	۳:۱~	۲:۵:۱~	۲:۵:۱~	۲:۱~	۲:۱~	نسبت کار به استراحت
۵/۵	۷/۵	۵	۷	۴/۵	۶/۵	۴	۶	استراحت بین ست (دقیقه)
۱/۵	۲/۵	۱/۵	۲/۵	۲	۳	۲	۳	استراحت بین حرکات (دقیقه)
۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	تعداد تمرینات
۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	تعداد ست

**دستورالعمل تغذیه‌ای:** با توجه به تأثیر دستورالعمل‌های تغذیه‌ای با تأکید بر محدودیت کالریک بر تغییرات بیومارکرهای انتخابی و میزان تغییر سن بیولوژیک (۲۰)، در ابتدای مطالعه یک دستورالعمل غذایی به هردو گروه آزمودنی‌های مداخله و کنترل ارائه شد. این دستورالعمل مبتنی بر یک مصاحبه حضوری فردی یا گروهی در خصوص ثبت غذاهای مصرفی و سایر اقدامات در طی سه روز اخیر از جمله نوع غذاهای مصرفی، میزان مصرف آب و نوشیدنی‌ها و یا خواب شبانه‌گی بود. بر اساس توافق اولیه و مطابق با توصیه‌های تغذیه‌ای محققان برای ایرانیان (۲۱)، به هر شرکت‌کننده یک دستورالعمل غذایی با الگوی آسیایی (۲۲)، از جمله حذف قندهای ساده، مصرف پروتئین‌های ترجیحاً سفید (ماهی، سفیده مرغ و تخم‌مرغ، آجیل و غیره) با توجه وضعیت عضلانی فرد و میزان چربی بدن و همچنین مصرف سبزیجات و غذاهای غنی از فیبر به همراه آب فراوان داده شد. در پایان هر هفته، نظارت بر تغذیه از طریق گزارش مکتوب غذاهای مصرف شده و سایر رفتارها از جمله میزان تحرک خارج از برنامه در طی روز و یا خواب شبانه‌گی انجام می‌شد و به سؤالات احتمالی افراد پاسخ داده می‌شد.

<sup>1</sup> TRX Biceps Curl

<sup>2</sup> Overhead Press

<sup>3</sup> Goblet Squat

<sup>4</sup> Lunge

<sup>5</sup> Box Jump

<sup>6</sup> Borrega-Mouquinho

<sup>7</sup> Rating of perceived



روش‌های تحلیل آماری: از زبان برنامه نویسی پایتون<sup>۱</sup> برای اجرای KDM و رسم نمودارها و نرم افزار SPSS 27 برای تحلیل آماری استفاده شد. آمار توصیفی برای ارائه میانگین و انحراف معیار متغیرها استفاده شد. همچنین برای بررسی میزان همبستگی بین سن تقویمی و سن بیولوژیک تخمین زده شده، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. آزمون t زوجی و t مستقل به ترتیب برای مقایسه درون گروه‌ها و بین گروه‌ها استفاده شد. سطح معنی‌داری  $p \leq 0/05$  در نظر گرفته شد.

### یافته‌ها

**تاثیر ۴۰ جلسه مداخله HIFT در زنان:** در مقایسه با گروه کنترل، اجرای ۴۰ جلسه HIFT موجب کاهش معنی‌داری در مقادیر وزن ( $p=0/03$ )، شاخص توده بدن ( $p=0/01$ )، دور کمر ( $p=0/001$ )، فشار خون دیاستولی ( $p=0/002$ )، انسولین ( $p=0/003$ ) و تری‌گلیسیرید ( $p=0/001$ ) و افزایش کلسترول لیپوپروتئین پرچگال ( $p=0/001$ )، پروتئین تام ( $p=0/03$ )، کراتینین ادرار ( $p=0/01$ )، هموگلوبین ( $p=0/001$ ) و قدرت پنجه دست برتر ( $p=0/001$ ) شد (جدول دو). مقایسه میزان تغییرات با مداخله با استفاده از نمودار حرارتی (شکل دو) نشان داد زنان پس از ۴۰ جلسه HIFT بهبود قابل توجهی در اغلب شاخص‌های کاردیومتابولیک تجربه کردند و الگوی تغییرات نشان می‌دهد که HIFT می‌تواند از طریق بهبود وضعیت ترکیب بدن، شاخص‌های متابولیک و عملکرد عضلانی به کاهش سن بیولوژیک در زنان منجر شود. در مقابل، شاخص‌هایی مانند آلبومین سرم، ظرفیت حیاتی اجباری، هماتوکریت و CRP تغییر معنی‌داری نشان ندادند.

**تاثیر ۴۰ جلسه مداخله HIFT در مردان:** براساس داده‌ها مندرج در جدول سه، میزان کاهش شاخص‌هایی از قبیل وزن بدن ( $p=0/007$ )، شاخص توده بدن ( $p=0/008$ )، دور کمر ( $p=0/001$ )، فشار خون دیاستولی ( $p=0/001$ )، پروتئین تام ( $p=0/02$ )، نیتروژن اوره خون ( $p=0/001$ )، هموگلوبین ( $p=0/01$ )، هماتوکریت ( $p=0/05$ )، پروتئین واکنش C ( $p=0/01$ )، ظرفیت حیاتی اجباری ( $p=0/001$ ) در گروه مداخله HIFT در مقایسه با گروه کنترل معنی‌دار بوده است. نمودار حرارتی مقایسه‌ای درصد تغییرات شاخص‌ها (شکل دو) نشان داد؛ HIFT همراه با دستورالعمل تغذیه‌ای در مردان منجر به بهبود گسترده شاخص‌های کاردیومتابولیک شد و این الگو مؤید آن است که HIFT در مردان از طریق بهبود شاخص‌های متابولیک و ترکیب بدن و ارتقای شاخص‌های تنفسی، التهابی و عملکرد عضلانی منجر به تعدیل و کاهش سن بیولوژیک می‌شود.

<sup>1</sup> Python



جدول ۲. نتایج آمار توصیفی متغیرهای کاردیومتابولیک و سایر شاخص‌های بالینی و آزمایشگاهی در گروه‌های مداخله و کنترل و مقایسه آن‌ها در زنان

P value	گروه کنترل			گروه تمرینات تناوبی فانکشنال			شاخص
	P value	انحراف معیار	اختلاف میانگین	P value	انحراف معیار	اختلاف میانگین	
-	-	-	-	-	-	-	سن تقویمی (سال)
۰/۰۰۹ <sup>§</sup>	۰/۷۳	۰/۷	-۰/۰۴	۰/۰۰۱*	۰/۰۴	-۰/۶۰	سن بیولوژیک (سال)
۰/۰۰۳ <sup>§</sup>	۰/۰۳*	۱۰/۹	-۷/۲	۰/۰۰۱*	۷/۲	-۲/۳۴	وزن (کیلوگرم)
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۰۰۲*	۵/۰۳	-۳/۵۷	۰/۰۰۱*	۳/۵۷	-۰/۹۴	شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۱۶۳	۱/۵	۰/۴۴	۰/۰۰۱*	۰/۴۴	-۲/۳۲	دور کمر (سانتی متر)
۰/۰۰۹	۰/۰۲*	۵/۲	-۲/۶	۰/۰۰۱*	۲/۶	-۵/۲۴	فشار خون سیستول (میلی متر جیوه)
۰/۰۰۳ <sup>§</sup>	۰/۳۲۷	۲	۰/۴	۰/۰۰۵*	۰/۴	-۵/۶۴	فشار خون دیاستول (میلی متر جیوه)
۰/۷۱	۰/۰۹۲	۲۵/۹۴	-۹/۱۲	۰/۰۰۱*	۹/۱۲	-۷/۱۵	گلوکز ناشتا (میلی گرم بر دسی لیتر)
۰/۰۰۳ <sup>§</sup>	۰/۲۳	۰/۲۸	۰/۰۷	۰/۰۰۶*	۰/۰۷	-۲/۱۳	انسولین (میکروواحد بر میلی لیتر)
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۰۹	۱/۳	۰/۴۷	۰/۰۰۱*	۰/۴۷	۳/۹۶	کلسترول لیپوپروتئین پرچگال (میلی گرم بر دسی لیتر)
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۸۶	۱۷/۸۷	-۰/۶	۰/۰۰۱*	۰/۶	-۲۹/۰۸	تری گلیسیرید (میلی گرم بر دسی لیتر)
۰/۵۳	۰/۲۱	۰/۰۶	۰/۰۱۶	۰/۷۹	۰/۰۱۶	-۰/۱۱	آلبومین سرم (گرم بر دسی لیتر)
۰/۰۰۳ <sup>§</sup>	۰/۵۲	۰/۱۸	-۰/۰۲	۰/۰۴*	۰/۰۲	۰/۱۶	پروتئین تام (گرم بر دسی لیتر)
۰/۵۲	۰/۰۱*	۵/۷	-۳/۱۴	۰/۰۰۱*	۳/۱۴	-۴/۰۳	نیتروزن اوره خون (میلی گرم بر دسی لیتر)
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۰۰۱*	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۲	۰/۱۳	۰/۰۳۳	کراتین ادرار (میلی گرم بر دسی لیتر)
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۶۵	۰/۱۷۷	-۰/۰۱۶	۰/۰۰۱*	۰/۰۱۶	-۰/۴	هموگلوبین (گرم بر دسی لیتر)
۰/۰۰۶	۰/۱۷	۰/۲۶	-۰/۰۷	۰/۱	۰/۰۷	-۰/۷۲	هماتوکریت (درصد)
۰/۲۴	۰/۰۱۴*	۱/۰۳	۰/۵۴	۰/۸۱	۰/۵۴	-۰/۱۲	پروتئین واکنش C (میلی گرم بر لیتر)
۰/۴۶	۰/۹۴	۸۳۹/۴	۱۰/۹۶	۰/۰۸	۱۰/۹۶	۱۵۰/۱۶	ظرفیت حیاتی اجباری (میلی لیتر)
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۸	۰/۷۸	۰/۰۴	۰/۰۰۱*	۰/۰۴	۲/۶۴	قدرت پنجه دست برتر (کیلوگرم)

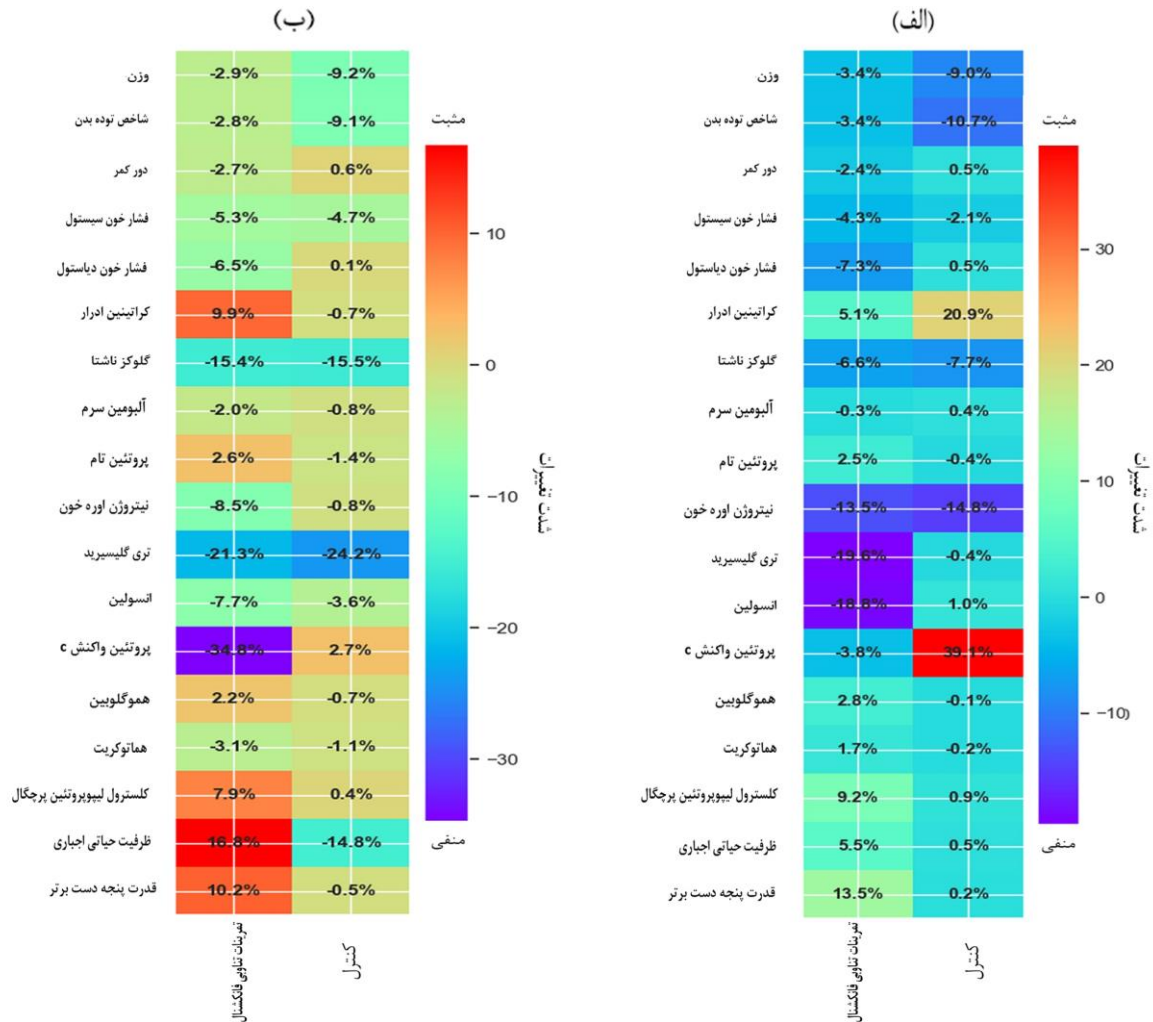
\*نشانه تفاوت معنی‌دار قبل و بعد از مداخله در سطح  $p \leq 0.05$ ; § نشانه تفاوت معنی‌دار بین دو گروه در سطح  $p \leq 0.05$



جدول ۳. نتایج آمار توصیفی متغیرهای کاردیومتابولیک و سایر شاخص‌های بالینی و آزمایشگاهی در گروه‌های مداخله و کنترل و مقایسه آن‌ها در مردان

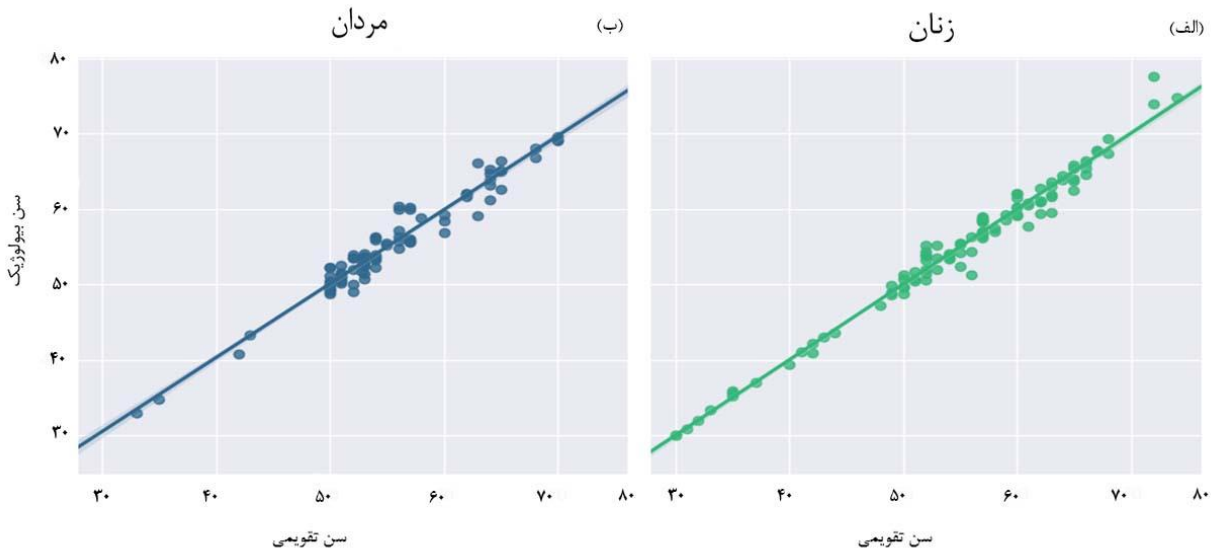
مردان							شاخص	
P value	گروه کنترل			گروه تمرینات تناوبی فانکشنال				
	P value	انحراف معیار	اختلاف میانگین	P value	انحراف معیار	اختلاف میانگین		
-	-	-	-	-	-	-	سن تقویمی (سال)	
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۳۲	۰/۳۴	-۰/۰۶	۰/۰۰۱*	۰/۶۶	-۰/۷۱	سن بیولوژیک (سال)	
۰/۰۰۷ <sup>§</sup>	۰/۰۰۱*	۱۰/۱	-۸/۲	۰/۰۰۱*	۱/۹	-۲/۴۲	وزن (کیلوگرم)	آنتروپومتریکی
۰/۰۰۸ <sup>§</sup>	۰/۰۰۱*	۳/۴	-۲/۷	۰/۰۰۱*	۰/۶۱	-۰/۸۱	شاخص توده بدن (کیلوگرم بر مترمربع)	
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۱۶	۱/۹	۰/۵۶	۰/۰۰۱*	۲/۸	-۲/۶۶	دور کمر (سانتی متر)	
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۰۰۱*	۶/۶	-۶/۳	۰/۰۰۱*	۶/۳	-۶/۷	فشار خون سیستول (میلی متر جیوه)	قلبی - عروقی و همودینامیک
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۹۵	۳/۹۷	۰/۰۴	۰/۰۰۱*	۵/۶	-۵/۴۷	فشار خون دیاستول (میلی متر جیوه)	
۰/۸۲	۰/۰۱*	۴۲/۹	-۲۲/۲	۰/۰۰۵*	۱۳/۶۵	-۱۹/۸۴	گلوکز ناشتا (میلی گرم بر دسی لیتر)	متابولیک و گلوکز - لیپید
۰/۵۴	۰/۱	۰/۷۵	-۰/۲۵	۰/۳۵	۲/۹۹	-۰/۷۴	انسولین (میکروواحد بر میلی لیتر)	
۰/۱	۰/۶۸	۲/۶	۰/۲۱۲	۰/۰۹	۸/۸۸	۳/۰۸	کلسترول لیپوپروتئین پرچگال (میلی گرم بر دسی لیتر)	
۰/۵۵	۰/۰۰۱*	۶۶/۳	-۵۳/۱۵	۰/۰۰۱*	۴۵/۷۲	-۴۳/۵۳	تری گلیسیرید (میلی گرم بر دسی لیتر)	
۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۱۱	-۰/۰۳	۰/۰۱*	۰/۱۶	-۰/۰۸۶	آلبومین سرم (گرم بر دسی لیتر)	کبدی و وضعیت پروتئینی بدن
۰/۰۲ <sup>§</sup>	۰/۲۶	۰/۴۴	-۰/۱	۰/۰۳*	۰/۴	۰/۱۸	پروتئین تام (گرم بر دسی لیتر)	
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۴۸	۱/۰۳	-۰/۱۴	۰/۰۰۱*	۱/۳۵	-۱/۷۷	نیترژن اوره خون (میلی گرم بر دسی لیتر)	کلیوی
۰/۰۷	۰/۸۷	۰/۱۹	-۰/۰۰۶	۰/۰۱*	۰/۱۷	۰/۰۸	کراتینین ادرار (میلی گرم بر دسی لیتر)	
۰/۰۱ <sup>§</sup>	۰/۴۵	۰/۶۴	-۰/۰۹	۰/۰۰۳*	۰/۴۹	۰/۳۳	هموگلوبین (گرم بر دسی لیتر)	هماتولوژیک
۰/۰۵ <sup>§</sup>	۰/۱۳	۱/۵۴	-۰/۴۷	۰/۰۰۱*	۱/۷	-۱/۳۹	هماتوکریت (درصد)	
۰/۰۱ <sup>§</sup>	۰/۸۲	۱/۳۴	-۰/۰۵	۰/۰۰۳*	۱/۵۹	-۱/۰۴	پروتئین واکنش C (میلی گرم بر لیتر)	التهابی
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۰۱*	۸۹/۷۷	-۴۶۳/۱۶	۰/۰۰۳*	۸۷۸/۳۴	۵۸۶/۶	ظرفیت حیاتی اجباری (میلی لیتر)	تنفسی
۰/۰۰۱ <sup>§</sup>	۰/۴۴	۱/۰۲	-۰/۱۶	۰/۰۰۱*	۴/۹۴	۲/۷۶	قدرت پنجه دست برتر (کیلوگرم)	عضلانی و فیزیکی

\*نشانه تفاوت معنی‌دار قبل و بعد از مداخله در سطح  $p \leq 0.05$ ; § نشانه تفاوت معنی‌دار بین دو گروه در سطح  $p \leq 0.05$



شکل ۲. نمودار حرارتی مربوط به مقایسه درصد تغییرات هر شاخص در گروه مداخله تمرینات تناوبی فانکشنال (HIIT) و گروه کنترل؛ الف) زنان؛ ب) مردان

روش کلمرا- دو بال: شکل سه همبستگی سن تقویمی با سن بیولوژیک آزمودنی‌ها قبل از مداخله (مردان  $r=0/97$ ؛ زنان  $r=0/98$ ) نشان می‌دهد. نتایج نشان دهنده روایی همگرایی سن بیولوژیک برآورد شده با مدل KDM می‌باشد که بیانگر همسویی مناسب مدل KDM با روند افزایش سن در جمعیت مورد مطالعه است.



شکل ۳. الف) همبستگی پیرسون بین سن تقویمی و سن بیولوژیک به روش کلمرا- دوبال (KDM) در زنان؛ ب) همبستگی پیرسون بین سن تقویمی و سن بیولوژیک به روش کلمرا- دوبال (KDM) در مردان

نتایج آزمون t مستقل نیز نشان داد که تفاوت معنی داری در سن بیولوژیک بین دو گروه در زنان و مردان دیده شد (زنان:  $p=0/009$ ؛ مردان:  $p=0/001$ ) (جدول دو و سه). همچنین ۴۰ جلسه HIFT منجر به تغییرات معنی دار در سن بیولوژیک زنان و مردان شد (هر دو جنس  $p=0/001$ ) در حالی که این تغییرات در گروه کنترل معنی دار نبود ( $p > 0/05$ ) (جدول دو و سه)

#### بحث

طبق دانش ما، این اولین مطالعه‌ای است که تأثیر تمرینات منظم HIFT همراه با رعایت دستورالعمل‌های تغذیه‌ای را بر شاخص‌های مختلف کاردیومتابولیک در زنان و مردان مسن تجزیه و تحلیل می‌کند. نتیجه مطالعه نشان داد که مداخله HIFT به طور قابل توجهی امتیاز سن بیولوژیکی KDM را در مقایسه با گروه کنترل بهبود بخشید، به گونه‌ای که استفاده از مدل کلمرا - دوبال نشان داد که سن بیولوژیک مردان و زنان متعاقب ۴۰ جلسه HIFT به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۶ سال کاهش یافت و این در حالی بود که در گروه کنترل (که فقط دستورالعمل تغذیه‌ای را رعایت نموده اند) این کاهش غیرمعنی داری را در مردان و زنان به ترتیب ۰/۰۶ و ۰/۰۴ سال بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که اجرای تمرینات منظم HIFT همراه با رعایت دستورالعمل‌های تغذیه‌ای روش‌های مؤثری برای بهبود سن بیولوژیکی بویژه در مردان هستند، به گونه‌ای که براساس یافته‌های مطالعه حاضر، اجرای HIFT همراه با رعایت دستورالعمل‌های تغذیه‌ای از طریق بهبود شاخص‌های کاردیومتابولیک، ترکیب بدن و ارتقای شاخص‌های تنفسی، التهابی و عملکرد عضلانی توانست سن بیولوژیک را به ویژه در مردان به مدت کمتر از یک سال کاهش دهد، نتایج مطالعه ما با تحقیقات گذشته که قابلیت محدودیت کالری را برای بهبود عوامل خطر قلبی عروقی و متابولیک در بزرگسالان نشان می‌دهد مطابقت دارد (۲۳)، و با کاهش استرس اکسیداتیو و التهاب در مدل‌های انسانی و حیوانی، عملکرد سلولی را بهبود می‌بخشد (۲۴). تفاوت‌ها در سن بیولوژیکی KDM می‌تواند



باعث تغییرپذیری در خطر مرگ و میر در بزرگسالان مسن تر شود و KDM مرگ و میر را بهتر از استفاده از سن بیولوژیکی به تنهایی پیش بینی می کند (۲۵). مطالعه مقطعی کرسوویچ<sup>۱</sup> و دیگران (۲۰۲۲)، تأثیر مفید رویکردهای تغذیه سالم، از جمله رژیم غذایی طراحی شده برای مدیریت فشار خون بالا و رژیم غذایی مدیترانه‌ای، بر تسریع سن متیلاسیون (DNAmAge) در میان زنان سفیدپوست غیر اسپانیایی را نشان داد (۲۶). در مطالعه دیگری، وانگ<sup>۲</sup> و دیگران (۲۰۲۴) اخیراً ارتباط ظرفیت التهابی تغذیه‌ای، امتیاز تعادل اکسایشی رژیم غذایی و پیری بیولوژیکی را با استفاده از الگوریتم‌های تعیین شده، از جمله روش KDM ارزیابی و گزارش دادند که شاخص التهابی تغذیه‌ای بالاتر و یا نمره تعادل اکسایشی تغذیه کمتر با نشانگرهای بالاتر پیری بیولوژیکی مرتبط است. این محققان نتیجه گیری کردند که رژیم‌های غذایی ممکن است پیری بیولوژیکی ناشی از التهاب و یا استرس اکسیداتیو را کاهش دهند (۲۷). ارتباط بین الگوی تغذیه‌ای با التهاب سیستمیک و سندروم متابولیک قبلاً توسط محققان دیگر نیز گزارش شد (۲۸، ۲۹). راوی و دیگران (۲۰۲۵) اخیراً گزارش دادند که الگوی غذایی نامطلوب با تسریع سن بیولوژیک در دو قلوها همراه بوده است، به گونه‌ای که رژیم‌های غذایی سرشار از فسفید فود، گوشت قرمز فرآوری شده و نوشیدنی‌های شیرین شده با قند و میوه‌ها و سبزیجات اندک در رژیم غذایی با تسریع پیری بیولوژیکی در بزرگسالی مرتبط هستند (۳۰). اگرچه برنامه‌های غذایی آزمودنی‌های مطالعه حاضر به‌طور دقیق کنترل نشده است، اما نظارت هفتگی بر غذاهای گزارش شده آزمودنی‌ها و ارائه بازخوردهای لازم برای بهبود وضعیت تغذیه‌ای موجب کاهش سن بیولوژیک در مردان و زنان به ترتیب به میزان ۰/۰۶ و ۰/۰۴ سال در آزمودنی‌های گروه کنترل شده است، این در حالی است که این تغییرات در گروه مداخله که همزمان HIFT را نیز اجرا نموده اند، به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۶۰ سال بوده است. بنابراین، به نظر می‌رسد رویکرد تمرینات فانکشنال همراه با دستورالعمل غذایی در تعدیل سن بیولوژیک برآوردی مردان و زنان موثر بوده است، به گونه‌ای که اثربخشی یک مداخله کالری‌سوزی یعنی تمرینات ۴۰ جلسه‌ای فانکشنال ممکن است به طور قابل توجهی بهبود سن بیولوژیک را در هر دو جنس را به دنبال داشته باشد. همسو با یافته‌های مطالعه حاضر، پژوهش هو<sup>۳</sup> و دیگران (۲۰۲۲) نیز نشان داد تمرینات ترکیبی هوازی و مقاومتی (همانند تمرینات فانکشنال) به بهبود چندین معیار عملکرد فیزیکی و شناختی و کاهش مرگ و میر و ناتوانی همراه است (۱۲). یافته‌های مطالعه هوآنگ<sup>۴</sup> و دیگران (۲۰۲۵) نیز مؤید تأثیر تمرینات هوازی بر بهبود سن بیولوژیک در مبتلایان به نارسایی قلب می‌باشد (۳۱).

یافته‌های مطالعه حاضر همچنین نشان داد اجرای مداخله دستورالعمل غذایی با تأکید بر حذف مواد قندی ساده و محدودیت مواد قندی پیچیده اگرچه موجب کاهش سن بیولوژیک مردان و زنان شد اما این کاهش به لحاظ آماری معنی‌دار نبود، اما در مقابل گروه HIFT، کاهش سن بیولوژیک در زنان و در مردان به صورت معنی‌داری پس از مداخله ورزشی مشاهده شد. امروزه مقوله سالمندی سالم یعنی بهبود و حفظ سلامتی جسمی، اجتماعی و روانی، استقلال و کیفیت زندگی بسیار حائز اهمیت است و از این رو، سیاست دولت‌ها بر سلامت محوری به جای درمان محوری متمرکز شده است تا ضمن کاهش محسوس هزینه‌های نگهداری و درمانی سالمندان، استقلال فردی و از این رو بهبود کیفیت زندگی را برای فرد سالمندان و اطرافیان به ارمغان آورد. در این راستا زن<sup>۵</sup> و

<sup>1</sup> Kresovich

<sup>2</sup> Wang

<sup>3</sup> Ho

<sup>4</sup> Huang

<sup>5</sup> Xenou



دیگران (۲۰۲۱) اظهار داشتند زنانی که رژیم غذایی متعادلی داشتند و فعالیت بدنی بیشتری انجام می‌دادند، از کیفیت زندگی بهتر و سالم‌تری نیز برخوردار بودند (۳۲). مکانیزم اثربخشی رعایت دستورالعمل‌های زندگی بر سن بیولوژیک و از این رو کیفیت زندگی کاملاً مشخص نیست. با این وجود، گزارش‌هایی وجود دارد که نشان می‌دهد عادات غذایی، از جمله میزان کالری دریافتی، ترکیب درشت مغذی‌ها و کیفیت انتخاب‌های غذایی، نقش مهمی در مدیریت وزن، حساسیت به انسولین و نشانگرهای التهابی در زنان دارند (۳۲). رژیم غذایی حاوی کربوهیدرات اندک و سرشار از فیبر می‌تواند به تنظیم سطح قند خون و بهبود حساسیت به انسولین کمک کند (۳۳).

مطالعات قبلی نشان می‌دهد افزایش سطح CRP به عنوان نشانگر التهاب سیستمیک در تسریع فرآیند پیری بیولوژیک ارتباط دارد، زیرا التهاب مزمن می‌تواند با افزایش استرس اکسیداتیو، اختلال عملکرد میتوکندری و آسیب DNA موجب تسریع زوال سلول شود. CRP با فعال سازی مسیرهای التهابی و به دنبال آن تولید سایتوکاین‌های پیش التهابی، عملکرد اندام‌ها و همئوستاز متابولیک را مختل کرده و موجب افزایش سن بیولوژیک خواهد شد (۳۴). همچنین، افزایش CRP با بروز بیماری‌های کاردیومتابولیک و کاهش ظرفیت عملکردی مرتبط می‌باشد. یافته‌های مطالعه پایوانو<sup>۱</sup> (۲۰۲۲) و برگنز<sup>۲</sup> (۲۰۱۹) مؤید رابطه معکوس بین مصرف سبزیجات (نه میوه‌ها) و سطوح شاخص‌های التهابی در میانسالان و بزرگسالان مسن بویژه چاق (۲۸) و افراد با سطح آمادگی جسمانی پایین (۳۵) می‌باشد. از این رو، همانطور که مطالعات قبلی نقش محافظتی رفتارهای سبک زندگی بر احتمال ابتلا به سندرم متابولیک و دیابت نوع دو را برجسته کرده‌اند (۲۸)، بنابراین همسو با یافته‌های مطالعات بالا، یافته‌های ما حاکی از اثربخشی مثبت HIFT همراه با رعایت دستورالعمل سبک زندگی بر کاهش التهاب و شاخص‌های سندرم متابولیک در هر دو گروه مردان و زنان بوده است. از این رو، می‌توان انتظار داشت کاهش CRP متعاقب مداخله‌های سبک زندگی سالم مانند تمرین منظم به همراه رعایت دستورالعمل‌های تغذیه‌ای، از طریق بهبود وضعیت التهابی و متابولیک منجر به کاهش سرعت پیری بیولوژیک شود. با این وجود، عدم تغییرات مشابه بین زنان و مردان در مطالعه حاضر نیز می‌تواند به علت تفاوت در تنظیمات هورمونی، مسیرهای متابولیکی و الگوی ذخیره و مصرف چربی در بدن مرتبط باشد که بر میزان پاسخ مداخلات سبک زندگی تاثیرگذار است، به علاوه، زنان به دلیل تفاوت در هورمون‌های جنسی، که منجر به تفاوت در مسیرهای حسگر غذایی، پاسخ‌های میتوکندریایی و الگوهای ذخیره و مصرف چربی متفاوت با مردان می‌شوند (۱۲).

نقطه قوت مطالعه حاضر بررسی اثربخشی یک مداخله ۴۰ جلسه‌ای همراه با دستورالعمل‌های تغذیه‌ای بر سن بیولوژیک در دو گروه مردان و زنان نسبتاً سالمند بود. با این وجود، این مطالعه با محدودیت‌هایی نیز مواجه بود که باید در تفسیر یافته‌ها در نظر گرفته شوند. اول، مدت زمان مطالعه نسبتاً کوتاه بود که توانایی ارزیابی پایداری طولانی‌مدت اصلاح سبک زندگی بر سن بیولوژیکی را محدود می‌کند. دوم، تعدادی از عوامل مرتبط با سبک زندگی، از جمله فعالیت بدنی خارج از جلسات ورزشی، کیفیت خواب، سطح استرس و پایداری دقیق به رژیم غذایی، به طور کامل کنترل نشدند. سوم، شرکت‌کنندگان از افراد سالم انتخاب شدند که تعمیم نتایج به سایر افراد یا جمعیت‌ها را دشوار می‌کند.

<sup>1</sup> Papaioannou

<sup>2</sup> Bergens



**نتیجه گیری:** به طور کلی، یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که اجرای کوتاه مدت تمرینات منظم فانکشنال در مقایسه با گروه بدون مداخله که صرفاً دستورالعمل‌های تغذیه‌ای را رعایت کردند، از طریق تغییرات در بیومارکرهای کاردیومتابولیک می‌تواند سن بیولوژیکی را در هردو جنس بهبود بخشد که نشان دهنده ضرورت رعایت هردو رویکرد تمرین منظم در کنار رژیم غذایی در بهبود وضعیت شاخص‌های بالینی و به ویژه عملکردی است. نتایج مطالعه ما راه را برای مطالعات آتی جهت تعیین توانایی سایر رویکردهای سبک زندگی از قبیل اثربخشی مصرف آنتی‌اکسیدان‌های گیاهی همراه با تمرینات ورزشی و یا استعمال سیگار و الکل بر سن بیولوژیکی با استفاده از مدل کلمرا - دوبال و یا مدل‌های جدید هوش مصنوعی هموار می‌کند.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله، تعارض منافی وجود ندارد

### قدردانی و تشکر

محققان از دانشکده علوم ورزشی دانشگاه مازندران و آزمودنی‌های شهرهای قوچان، بجنورد، کرمان و بابلسر و همینطور مرکز خدمات تندرستی دکتر روشن به خاطر مساعدت در اجرای پروتکل تحقیق و جمع‌آوری داده‌ها تشکر و قدردانی می‌نمایند. این مقاله با حمایت مادی بنیاد ملی علم ایران (INSF) و در راستای طرح مصوب به شماره ۴۰۳۹۵۷۱ انجام شده است.

### منابع

1. Picca A, Coelho-Junior HJ, Calvani R, Marzetti E, Vetrano DL. Biomarkers shared by frailty and sarcopenia in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*. 2022;73:101530. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2021>.
2. Zhang Y, Tang D, Zhang N, Xiang Y, Hu Y, Qian W, et al. Lifestyles and their relative contribution to biological aging across multiple-organ systems: Change analysis from the China Multi-Ethnic Cohort study. *Elife*. 2025;13:RP99924. <https://doi.org/10.7554/eLife..3>.
3. Lu W-H. Effect of modifiable lifestyle factors on biological aging. *The Journal of Aging Research & Lifestyle*. 2024;13:88-92. <https://doi.org/10.14283/jarlife.2024.13>.
4. Lowsky DJ, Olshansky SJ, Bhattacharya J, Goldman DP. Heterogeneity in healthy aging. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*. 2014;69(6):640-9. <https://doi.org/10.1093/gerona/glt162>.
5. Ferrucci L, Gonzalez-Freire M, Fabbri E, Simonsick E, Tanaka T, Moore Z. Measuring biological aging in humans. *A Quest*. 19:e13080. <https://doi.org/10.1111/accel>.
6. Jylhävä J, Pedersen NL, Hägg S. Biological age predictors. *EBioMedicine*. 2017;21:29-36. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2017.03.046>
7. Golpayegani M, Amiri S, Haqparast A, Nurshahi M. The role of physical fitness and thinness index in the development of a biological age estimation model. *The First International Congress and Second National Congress in Sport Sciences Women, Physical Activity and Health* 1403.
8. Zurbuchen R, von Däniken A, Janka H, von Wolff M, Stute P. Methods for the assessment of biological age—A systematic review. *Maturitas*. 2025;108215. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2025>.

9. Thomas A, Belsky DW, Gu Y. Healthy lifestyle behaviors and biological aging in the US National Health and Nutrition Examination Surveys 1999–2018. *The Journals of Gerontology: Series A*. 2023;78(9):1535-42. <https://doi.org/10.093/geroni/iqae098.0567>
10. Zahedmanesh F, Nasiri K, Dabidi Roshan V. The effect of using medical masks on cardiovascular responses and rating of perceived exertion of health women during a submaximal exercise protocol. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*. 2021;9(20):84-96. <https://doi.org/10.22077/jpsbs.2021.4590.1661>.
11. Kolokoltsev M, Romanova E, Vorozheikin A, Bocharin I, Karuzin K, Martusevich A, et al. The effect of physical activity on biological age and body composition in 18–19-year-old girls. *Journal of Physical Education and Sport*. 2022;22(4):981-7.
12. Ho E, Qualls C, Villareal DT. Effect of diet, exercise, or both on biological age and healthy aging in older adults with obesity: secondary analysis of a randomized controlled trial. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*. 2022;26(6):552-7. <https://doi.org/10.1007/s12603-022-1812-x>.
13. Wang C, Guan X, Bai Y, Feng Y, Wei W, Li H, et al. A machine learning–based biological aging prediction and its associations with healthy lifestyles: the Dongfeng–Tongji cohort. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2022;1507(1):108-20. <https://doi.org/10.1111/nyas.14685>.
14. Yang G, Cao X, Li X, Zhang J, Ma C, Zhang N, et al. Association of unhealthy lifestyle and childhood adversity with acceleration of aging among UK Biobank participants. *JAMA Network Open*. 2022;5(9):e2230690-e. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.30690>
15. Smith LE, Van Guilder GP, Dalleck LC, Lewis NR, Dages AG, Harris NK. A preliminary investigation into the frequency dose effects of high-intensity functional training on cardiometabolic health. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2023;22(4):688. <https://doi.org/10.52082/jssm.2023.688>
16. Levine ME. Modeling the rate of senescence: can estimated biological age predict mortality more accurately than chronological age? *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*. 2013. 74-667:(6)683. <https://doi.org/10.1093/gerona/gls233>.
17. Belsky DW, Caspi A, Houts R, Cohen HJ, Corcoran DL, Danese A, et al. Quantification of biological aging in young adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015;112(30):E4104-E10. <https://doi.org/10.1073/pnas.1506264112>.
18. Heinrich KM, Crawford DA, Langford CR, Kehler A, Andrews V. High-intensity functional training shows promise for improving physical functioning and activity in community-dwelling older adults: a pilot study. *Journal of Geriatric Physical Therapy*. 2021;44(1):9-17. <https://doi.org/10.1519/jpt.0000000000000251>
19. Borrega-Mouquinho Y, Sánchez-Gómez J, Fuentes-García JP, Collado-Mateo D, Villafaina S. Effects of high-intensity interval training and moderate-intensity training on stress, depression, anxiety, and resilience in healthy adults during coronavirus disease 2019 confinement: a randomized controlled trial. *Frontiers in Psychology*. 2021;12:643069. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021>.
20. Racette SB, Das SK. Caloric restriction and biomarkers of aging. *Intermittent and Periodic Fasting, Aging and Disease*: Springer; 2024. p. 3-28. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-49622-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-49622-6_1)
21. Seifi N, Talkhi N, Khorasanchi Z, Soflaei SS, Sobhani SR, Abdollahi Z, et al. Dietary intakes in relation to nutrition recommendations and dietary quality in an Iranian adult population: the results of the Food and Nutrition Surveillance (FNS). *Journal of Health, Population and Nutrition*. 2025;44(1):268. <https://doi.org/10.1186/s41043-025-010-22x>.

22. Cámara M, Giner RM, González-Fandos E, López-García E, Mañes J, Portillo MP, et al. Food-based dietary guidelines around the world: a comparative analysis to update AESAN scientific committee dietary recommendations. *Nutrients*. 2021;13(9):3131. <https://doi.org/10.390/nu13093131>
23. Kraus WE, Bhapkar M, Huffman KM, Pieper CF, Das SK, Redman LM, et al. 2 years of calorie restriction and cardiometabolic risk (CALERIE): exploratory outcomes of a multicentre, phase 2, randomised controlled trial. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*. 2019;7(9):673-83. [https://doi.org/10.1016/s2213-8587\(19\)30151-2](https://doi.org/10.1016/s2213-8587(19)30151-2)
24. Redman LM, Smith SR, Burton JH, Martin CK, Il'yasova D, Ravussin E. Metabolic slowing and reduced oxidative damage with sustained caloric restriction support the rate of living and oxidative damage theories of aging. *Cell Metabolism*. 2018;27(4):805-15. e4. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2018.02.019>
25. Gaydosh L, Belsky DW, Gleib DA, Goldman N. Testing proposed quantifications of biological aging in Taiwanese older adults. *The Journals of Gerontology: Series A*. 2020;75(9):1680-5. <https://doi.org/10.093/gerona/gz223>
26. Kresovich JK, Park Y-MM, Keller JA, Sandler DP, Taylor JA. Healthy eating patterns and epigenetic measures of biological age. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2022;115(1):171-9. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab307>
27. Wang X, Cheng L, Dang K, Hu J, Pan S, Zhang J, et al. Association of dietary inflammatory potential, dietary oxidative balance score and biological aging. *Clinical Nutrition*. 2024;43(1):1-10. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2023.11.007>
28. Papaioannou K-G, Kadi F, Nilsson A. Consumption of vegetables is associated with systemic inflammation in older adults. *Nutrients*. 2022;14(9):1765. <https://doi.org/10.3390/nu14091765>
29. Parsaeifar A, Dabidi Roshan V. The effect of the cumulative doses of doxorubicin on voluntary physical activity distance in active aging model rats. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*. 2018;6(12):59-69 .  
<http://10.22077/jpsbs.2017.25.1105>.
30. Ravi S, Kankaanpää A, Bogl LH, Heikkinen A, Pietiläinen KH, Kaprio J, et al. Suboptimal dietary patterns are associated with accelerated biological aging in young adulthood: a study with twins. *Clinical Nutrition*. 2025;45:10-21. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2024.12.018>
31. Huang Z, Xu X, Leng Y, Ke Z, Tang Z, Fan Z, et al. Aerobic Exercise Training, Biological Age, and Mortality in Chronic Heart Failure With Reduced Ejection Fraction. *JACC: Advances*. 2025;4(4):101659. <https://doi.org/10.1016/j.jacadv.2025>
32. Xenou M, Gourounti K. Dietary patterns and polycystic ovary syndrome: a systematic review. *Maedica*. 2021;16(3):516. <https://doi.org/10.26574/maedica.2020.16.3.516>
33. Mao T, Huang F, Zhu X, Wei D, Chen L. Effects of dietary fiber on glycemic control and insulin sensitivity in patients with type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Functional Foods*. 2021;82:104500. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021>
34. Chung HY, Cesari M, Anton S, Marzetti E, Giovannini S, Seo AY, et al. Molecular inflammation: underpinnings of aging and age-related diseases. *Ageing Research Reviews*. 2009;8(1):18-30. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2008.07.002>
35. Bergens O, Nilsson A, Kadi F. Cardiorespiratory fitness does not offset adiposity-related systemic inflammation in physically active older women. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2019;104(9):4119-26. <https://doi.org/10.1210/jc.2019-00067>