Sport Medicine Studies **Volume 14, No 32, 2022, Page 159-182**

Research Paper

The Effect of an Eight-Week Endurance Training of Running on Positive and Negative Inclination on the Biomechanical Parameters of Tibia Bone in Male Wistar Rats

Azita Ravaaz[1], Ali Fatahi[2], Mohammad Ali Azarbayjani[3]

1. Department of Sports Biomechanics, Central Tehran Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran
2. Department of Sports Biomechanics, Central Tehran Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran (Corresponding Author)
3. Department of Sports Physiology, Central Tehran Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran

Received Date: 2022/07/25 **Accepted Date: 2022/09/20**

Abstract

Since participating in sports training is one of the best modalities to strengthen the bones and plays an important role in preventing bone injuries, the purpose of this study was to investigate the effect of an eight-week endurance training of running on positive and negative inclination on the biomechanical parameters of tibia bone in male Wistar rats. Fifteen Wistar rats with an approximate age of eight weeks and with a weight range of 180-200 grams were divided into 3 groups with an 8-week training protocol including: Control group (no activity), endurance training group in positive slope, and endurance training group in negative slope. Three-point bending test was used to measure biomechanical parameters. The results showed a significant improvement in maximum mechanical resistance (F max), bone deformation and maximum energy absorbed to the maximum point of tibia bone strength in the endurance training group of running on a positive slope compared to the negative slope group and the control group. Moreover, it was observed that endurance training in positive and negative slopes had no significant effect on bone stiffness. In addition, this type of endurance training in the negative slope caused a decrease in the mechanical parameters discussed in the study. Findings indicated the role of negative slope as a factor in reducing the quality of the biomechanical characteristics of bones in endurance training. It seems that endurance training of running in a positive slope can help improve bone indices. However, more considerations are needed in this area.

Keywords: Endurance Training (ET), Biomechanics, Tibia Bone, Three-Point Bending Test, Animal Model

1. Email: ara.ar2010@gmail.com
2. Email: fattahiali81@gmail.com
3. Email: m_azarbaijani@iauctb.ac.ir

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

Extended Abstract

Background and Purpose

The skeletal system has an important functional and structural role in human movement and protecting internal organs (1,2). Physical training enhances bone health and is the first modality for non-pharmacological strategies to prevent the complications of many chronic diseases. Training or mechanical stimulation is one of the main factors affecting bone mass (3). It has been widely accepted that the mechanical load caused by exercise increases muscle mass, causing mechanical stress in the skeleton (4). The precise effect of endurance training on bone tissue is not clear due to the contradictory findings of past studies. Therfore, the definitive role of endurance running exercises on bone health is controversial. The purpose of the present study was to investigate the effect of an eight-week endurance training period on positive and negative slope on the biomechanical parameters of Tibia bone in the Wistar male rats.

Materials and Methods

The research sample includes 15 male rats with an approximate age of eight weeks, weighing between 180-220 grams. The subjects were randomly divided into 3 groups (5 rats in each group), including the control group, the healthy group - running on a positive slope, and the healthy group - running on a negative slope. The training groups performed endurance training program with positive and negative slope 5 times a week for 8 weeks, according to the table 1.

For a week, the rats in the exercise group were familiarized with how to run on a rat-specific electronic treadmill on both positive and negative slopes. In the first week of the exercises, the rats of both groups, running on positive and negative slopes, were warmed up by walking slowly for five min at a speed of 0.03 m/s (1.8 m/min), and then the speed increased every three minutes until the rats were unable to walk and started running. The intensity of endurance training started from 45% of peak aerobic power with a speed of 10 m/min in the first week and continued with a speed of 17 m/min and 75% of peak aerobic power (all steps were applied in the table of ET on positive and negative slopes). The number of repetitions in training on positive and negative slopes in the first week was five, including four repetitions of 45% intensity (10 m/min) and one recovery repetition of 25% intensity (5 m/min). The total time of one session started from 25 minutes and continued up to the eighth week with nine repetitions, including six repetitions with an intensity of 75% of peak aerobic power at a speed of 17 m/min and three repetitions with an intensity of 50% of peak aerobic power and 7 m/min and a total session time of 60 minutes. It should be noted that the time, speed, slope, and intensity of the shock were determined quite digitally when running on the Animal

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

treadmill (Model: Mahour, 5 lines, ±15-degree slope). The details of the ET program are presented in Table 1.

Table 1. Endurance training on positive and negative slopes

Week	Activity repetition and recovery	Speed (m/min)	Intensity of activity	Intensity of recovery	Speed of recovery(m/min)	Total exercise time (min)
1	4.1	10	45%	25%	5	25
2	4.1	11	50%	30%	5	30
3	5.2	12	55%	30%	6	35
4	5.2	13	60%	35%	6	40
5	5.2	14	65%	40%	6	45
6	6.3	15	70%	45%	7	50
7	6.3	16	75%	50%	7	55
8	6.3	17	75%	50%	7	60

In order to measure the mechanical strength of the bone, the three-point bending test and force -time curve was used to identify stiffness (N/mm), maximum mechanical resistance (F_{max}) (N) and absorbed energy to the point of maximum strength (N/mm).

Normality of data distribution and homogeneity of variance were tested using the Shapiro-Wilk and Leven tests, respectively. Then, using independent t-test, healthy control groups and running in positive and negative slopes were compared. The obtained results were analyzed using one-way analysis of variance ($p < 0.05$).

Findings

The results of the Shapiro-Wilk test showed that the data distribution is normal. Leven's test also showed the homogeneity of variances. Running in a positive slope had a significant effect on the amount of F_{max} of the tibia bone (p=0.001). Running on a negative slope caused a significant decrease in F_{max} compared to the group running on a positive slope (p=0.001) and the control group (p=0.07). Running in a negative slope compared to a positive slope caused a significant decrease in tibia bone stiffness (p=0.02). The amount of tibia bone deformation in the positive slope group was significantly higher than the negative slope group (p=0.008) and the control group (p=0.029). The amount of energy absorption of the tibia due to running on a negative slope reduced significantly (p=0.05) compared to the group of running on a positive slope (p=0.014).

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

Conclusion

Based on the results of the subjects in the endurance training group of running on a rodent treadmill in a positive slope at the end of 8 weeks of training, there was a significant difference in the discussed biomechanical parameters, including maximum bone resistance, bone deformation, and maximum absorbed energy, compared to the control group and negative slope group (6,7).

Endurance training in the positive slope improved the maximum mechanical resistance in tibia probably according to the increasing effect on the organic and mineral content of bone. However, according to the reduction of this parameter in endurance training in the negative slope in the subjects, it can be stated that the training in the negative slope may have adverse effects on the bones, which may change the direction of the force components on the body.

Keywords: Endurance Training (ET), Biomechanics, Tibia Bone, Three-Point Bending Test, Animal Model

Relevancy

In total, the present study was able to show that endurance training in positive slope improved the biomechanical parameters of the tibia bone in rats. In contrast, performing endurance training in a negative slope showed a reducing effect on bone biomechanical parameters. It seems that by carefully examining the studies, the reason for the difference in the study's findings can be found in factors such as differences in the type of exercise, age range, race, and duration of the course. However, more studies are needed in this area for a clearer evaluation of the intervention process of sports training on bones.Therefore, more research in this field is recommended using different types of physical exercises with different intensity and volume.

References

1. Enoka RM. Neuromechanics of human movement. 5th ed., Human Kinetics. 2015, 496 p.
2. Zhang L, Yuan Y, Wu W, Sun Z, Lei L, Fan J, et al. Medium-Intensity Treadmill Exercise Exerts Beneficial Effects on Bone Modeling Through Bone Marrow Mesenchymal Stromal Cells. Front Cell Dev Biol. 2020 Nov 24; 8:1–13.
3. M, editors. Sports-related Fractures, Dislocations and Trauma. 1st ed. Cham: Springer International Publishing; 2020. 1041 p.
4. Maffioli P, Derosa G. Overview of Biochemical Markers of Bone Metabolism. In: Biomarkers in Disease: Methods, Discoveries and Applications [Internet]. 2015. p. 1–19.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

5. Borhani kakhki Z, Sadeghi Sadeghi H, Torkaman G, Gaeini AA, Gheidi N. The Effect of Eight Weeks Endurance Training on the Femur and Tibia Bones in Male Wistar Rats: Biomechanical and Geometrical Parameters. Stud Sport Med. 2016;8(19):43–62.
6. Kang Y-S, Kim C-H, Kim J-S. The effects of downhill and uphill exercise training on osteogenesis-related factors in ovariectomy-induced bone loss. J Exerc Nutr Biochem [Internet]. 2017 Sep 30;21(3):1–10

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

مطالعات طب ورزشی **دوره ۱۴، شماره ۳۲، تابستان ۱۴۰۱. صص ۱۸۲-۱۵۹**

مقالۀ پژوهشی

تأثیر یک دوره تمرین استقامتی هشت‌هفته‌ای دویدن در شیب مثبت و منفی بر پارامترهای بیومکانیکی استخوان تیبیا در رت‌های نر نژاد ویستار

آزیتا روّاز[۱]، علی فتاحی[۲]، محمدعلی آذربایجانی[۳]

۱. گروه بیومکانیک ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. گروه بیومکانیک ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
۳. گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ ارسال ۱۴۰۱/۰۵/۰۳ **تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۰۶/۲۹**

چکیده

شرکت در تمرینات ورزشی یکی از راه‌های مناسب برای تقویت و استحکام استخوان است و نقش مهمی در پیشگیری از بروز آسیب‌های استخوانی ایفا می‌کند؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر یک دوره تمرین استقامتی هشت‌هفته‌ای دویدن در شیب مثبت و منفی بر پارامترهای بیومکانیکی استخوان تیبیا در رت‌های نر نژاد ویستار انجام شد. پانزده رت ویستار با سن تقریبی هشت هفته و با محدوده وزن ۱۸۰-۲۰۰ گرم به سه گروه با پروتکل تمرین هشت‌هفته‌ای تقسیم شدند: گروه کنترل (بدون فعالیت)، گروه تمرین استقامتی در شیب مثبت، گروه تمرین استقامتی در شیب منفی. برای اندازه‌گیری پارامترهای بیومکانیکی از آزمون خمش سه‌نقطه‌ای استفاده شد. نتایج بیانگر بهبود معنادار در حداکثر مقاومت مکانیکی، تغییر شکل و حداکثر انرژی جذب‌شده تا نقطه حداکثر استحکام استخوان تیبیا در گروه تمرین استقامتی دویدن در شیب مثبت در مقایسه با گروه شیب منفی و گروه کنترل بود. از طرفی، مشاهده شد که تمرین استقامتی در شیب مثبت و منفی تأثیر معناداری بر سفتی استخوان نداشت. همچنین این نوع تمرین استقامتی در شیب منفی باعث کاهش پارامترهای مکانیکی بحث‌شده در پژوهش شد. یافته‌های پژوهش بیانگر نقش سراشیبی به‌عنوان عاملی در کاهش کیفیت و ویژگی‌های بیومکانیکی استخوان در تمرینات استقامتی است. به‌نظر می‌رسد تمرین استقامتی دویدن در شیب مثبت می‌تواند به بهبود شاخص‌های استخوانی کمک کند؛ هرچند ملاحظات بیشتری در این زمینه لازم است.

واژگان کلیدی: تمرین استقامتی، بیومکانیک، استخوان تیبیا، تست خمش سه‌نقطه‌ای، مدل حیوانی.

1. Email: ara.ar2010@gmail.com
2. Email: fattahiali81@gmail.com
3. Email: m_azarbaijani@iauctb.ac.ir

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

مقدمه

سیستم اسکلتی و به‌طور واضح استخوان، نقش عملکردی و ساختاری مهمی در انجام حرکت و جابه‌جایی (۱)، حمایت و حفاظت از اندام‌های داخلی (۴–۲) دارد. علاوه بر این، برمبنای ویژگی انعطاف‌پذیری مناسب به‌عنوان سیستم اهرمی نیز معرفی می‌شود (۵). هر استخوان هندسه خاصی دارد که به‌خوبی برای عملکرد آن استخوان و نیروهای مکانیکی که تجربه می‌کند، طراحی شده است (۶). استخوان تیبیا یا درشت‌نی، بزرگ‌ترین استخوان از میان دو استخوان ساق پاست که مسئول تحمل وزن افراد است و بخش جبران‌ناپذیری از مفاصل زانو و مچ پاست (۷).

استحکام استخوان در استخوان‌هایی که بار یا فشار یا استرس یا کشش بیشتری را تحمل می‌کنند، بیشتر است و می‌توان آن را با بعضی نقاط خاص بدن که بار کمتری را تحمل می‌کنند مثل جمجمه مقایسه کرد (۷). راف[1] توضیح می‌دهد که این تفاوت‌ها در نتیجه تغییرات مربوط به سطح استرس یا فشار واردشده بر استخوان است (۸). در استخوان فمور و تیبیا، این‌ها ناشی از بارهای مکانیکی است که به اندام تحتانی وارد می‌شود؛ بنابراین باعث می‌شود استنباط کنیم که استحکام استخوان تیبیا ممکن است در مردان و زنان متفاوت باشد، چراکه بار مکانیکی واردشده به استخوان در این دو جنس متفاوت است (۷). مهم‌ترین عملکرد بافت استخوانی تحمل و انتقال نیروها بدون شکستگی است. استحکام استخوان به مقدار بافت، ترکیب مواد آن و نحوه سازماندهی مواد استخوانی از نظر ریزمعماری و هندسی (شکل و اندازه) بستگی دارد (۱۱–۹).

تمرین ورزشی، سلامت جسمی و استخوانی را ارتقا می‌دهد و اولین انتخاب برای استراتژی‌های غیردارویی است که به بهبود و پیشگیری از عوارض بسیاری از بیماری‌های مزمن کمک می‌کند (۱۰) و به‌عنوان تکنیک مداخله‌ای کم‌هزینه و ایمن غیردارویی برای حفظ سلامت اسکلتی عضلانی توصیه شده است (۹، ۳). ورزش یا تحریک مکانیکی یکی از عوامل اصلی مؤثر بر توده استخوانی است (۳). براساس نتایج پژوهش ترویب[2] و همکاران، ورزش تردمیل باعث بهبود رشد خطی استخوان تیبیا می شود (۱۲).

استقامت به‌عنوان توانایی اعمال انرژی در یک دوره زمانی طولانی یا مسافت تعریف شده است (۱۳). در انواع مختلف تمرینات ورزشی، تمرینات استقامتی شامل تمریناتی است که در آن بدن از اکسیژن برای تأمین انرژی استفاده می‌کند. این تمرینات با شدت، تکرار و زمان کافی، گروه عضلات بزرگ بدن

---

[1]. Christopher Ruff
[2]. Troib

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

را به‌کار می‌گیرد (۱۱). مکانیسم‌های خاصی که از طریق آن ورزش سلامت استخوان را بهبود می‌بخشد، هنوز به‌طورکامل مشخص نشده است، اما به‌صورت گسترده پذیرفته شده است که بار مکانیکی ناشی از تمرین ورزشی، توده عضلانی را افزایش می‌دهد، استرس مکانیکی را در اسکلت ایجاد می‌کند و فعالیت استئوبلاست[1] را افزایش می دهد (۱۶–۱۴).

رت‌ها با توجه به سازگاری، استحکام، قابلیت بقا و هوش، مدل‌های عالی برای مطالعه پدیده‌های پزشکی، بیولوژیک، ژنتیکی و رفتاری هستند (۱۷). استفاده از رت‌ها به‌عنوان مدلی از رشد استخوان در اوایل دهه ۱۹۶۰ آغاز شد (۱۸). مدل‌های حیوانی زیادی برای مطالعه بازسازی استخوان وجود دارد، اما یک مدل قابل‌اعتماد، تکرارپذیر و نسبتاً ارزان با امکان آزمایش‌های متعدد در یک حیوان هنوز وجود ندارد. به‌دلیل جثه کوچک حیوان و نسبت هزینه/فایده خوب، رت‌ها می‌توانند مدل‌های خوبی برای این کار باشند (۱۹).

خصوصیات مکانیکی استخوان به‌عنوان عامل اصلی در ارزیابی ساختار و عملکرد استخوان استفاده می‌شود که به‌وسیله آزمون‌های بیومکانیکی قابل‌اندازه‌گیری است. با شروع اعمال بار در روش اندازه گیری مستقیم، استخوان یک پاسخ خطی از خود نمایش می‌دهد که این تغییرات شکل یا در طول استخوان بوده یا به‌شکل زاویه‌ای است که در ناحیه الاستیک منحنی تنش-کرنش ایجاد می‌شود؛ زیرا پس از کاهش نیروی خارجی استخوان شکل اولیه خود را باز می‌یابد و با ادامه نیروی خارجی استخوان به‌تدریج وارد ناحیه پلاستیک می‌شود که در این ناحیه دیگر به حالت اولیه خود بازنمی‌گردد (۲۰).

برای تعیین اثر هر روش درمانی در طول فرایند ترمیم نقایص استخوانی، ارزیابی مقاومت تا نقطه شکست ضروری است. چندین پارامتر ساختاری مانند معماری استخوان، محتوای مواد معدنی و چگالی برای ارزیابی غیرمستقیم خواص بیومکانیکی استخوان استفاده می‌شود؛ با وجود این، توانایی استخوان برای مقاومت در برابر شکستگی تنها با آزمایش‌های استحکام بیومکانیکی ارزیابی‌شدنی است (۲۲، ۲۱). روش‌های بیومکانیکی مختلفی را می‌توان برای مشخص‌کردن ویژگی‌های ساختاری استخوان استفاده کرد که ازجمله آن‌ها می‌توان به آزمون‌های کششی[2]، فشاری[3]، پیچشی[4] و خمشی[5] سه یا چهارنقطه‌ای اشاره کرد (۲۳، ۲۲). دستگاه تست خمش سه‌نقطه‌ای رایج‌ترین ابزار برای آزمایش‌های مکانیکی است که برای توصیف پارامترهای بیومکانیکی بافت استخوانی استخوان‌های بلند درحیوانات

---

1. Osteoblasts
2. Tensile
3. Compression
4. Torsion
5. Bending

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

کوچک استفاده می‌شود (۲۴، ۲۲، ۲۰). در روش اندازه‌گیری مستقیم، هم‌زمان با اعمال بار مکانیکی، استخوان یک پاسخ خطی از خود نمایش می‌دهد که این تغییرات یا در طول استخوان یا به‌شکل زاویه‌ای است که در ناحیه الاستیک منحنی تنش-کرنش ایجاد می‌شود که در این وضعیت پس از کاهش نیروی خارجی، استخوان به حالت اولیه خود باز می‌گردد. در ادامه اعمال نیروی خارجی، استخوان به‌تدریج وارد ناحیه پلاستیک می‌شود که در این ناحیه دیگر به حالت اولیه خود باز نمی‌گردد (۲۰) و درنهایت در نقطه تسلیم یا همان نقطه شکست، حداکثر نیروی اعمال‌شده نمایش داده می‌شود و شکست استخوان روی می‌دهد.

اثر دقیق تمرینات استقامتی بر بافت استخوانی با توجه به نتایج متناقض پژوهش‌های گذشته، تاکنون مشخص نشده است (۲۵-۲۹)؛ بنابراین نقش قطعی تمرینات دویدن استقامتی بر حفظ سلامت استخوان بحث‌برانگیز است (۲۵)، اما به‌خوبی شناخته شده است که تغییرات ناشی از تمرینات ورزشی برای بسیاری از جنبه‌های مختلف مانند محرک‌های نیرو، هورمون‌ها، سایتوکاین‌ها[1] و سلول‌ها برای سلامت استخوان مفید است (۳۰). هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی تأثیر یک دوره تمرین استقامتی هشت‌هفته‌ای دویدن در شیب مثبت و منفی بر پارامترهای بیومکانیکی استخوان تیبیا در رت‌های نر نژاد ویستار بود.

روش پژوهش

نمونه مطالعه‌شده، ۱۵ سر رت نر با سن تقریبی هشت هفته در محدوده وزن ۱۸۰-۲۲۰ گرم بودند که از مرکز پرورش و تکثیر حیوانات آزمایشگاهی انستیتو پاستور ایران تهیه شده و سپس به حیوان‌خانه دانشکده داروسازی دانشگاه تهران منتقل شدند(IR.SSRI.REC.1401.1510)[2] . ابتدا رت‌ها به‌مدت یک هفته برای سازگاری با محیط جدید در شرایط استاندارد آزمایشگاه نگهداری شدند. پس از آن آزمودنی‌ها به‌صورت تصادفی به سه گروه (پنج سر در هر گروه) تقسیم شدند: گروه کنترل، گروه سالم-دویدن در شیب مثبت و گروه سالم-دویدن در شیب منفی. همهٔ حیوانات در شرایط کنترل‌شده محیط در باکس‌های استاندارد نگهداری رت با میانگین دمای ۳±۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۴۰ درصد با چرخه ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی در قفس‌هایی با اندازهٔ استاندارد نگهداری شدند. آزمودنی‌ها به آب و غذای خشک استاندارد (شرکت به‌پرور) به‌طور آزادانه دسترسی داشتند.

1. Cytokines
2. Ethics Approval of Research Code

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

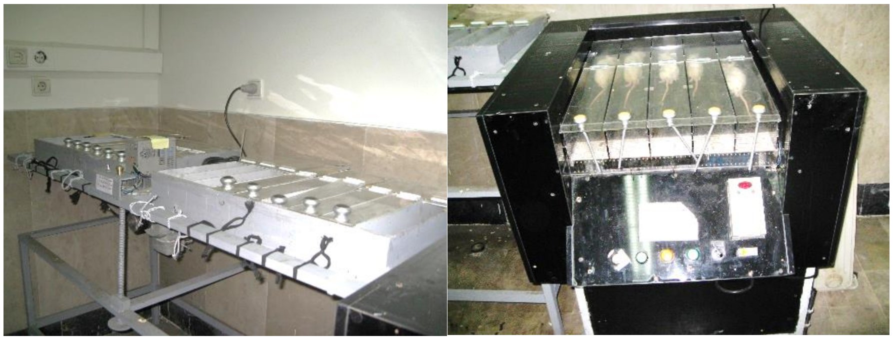
رت‌های گروه تمرینی به‌مدت یک هفته با نحوه دویدن روی نوارگردان الکترونیکی ویژه رت، در دو شیب مثبت و منفی آشنا شدند. گروه‌های تمرین به‌مدت هشت هفته و هر هفته پنج روز برنامه تمرین استقامتی با شیب مثبت و منفی را انجام دادند. در هفته اول شروع تمرینات، رت‌ها در هر دو گروه دویدن با شیب مثبت و منفی به‌وسیله راه‌رفتن آرام به‌مدت پنج دقیقه با سرعت ۰/۰۳ متر بر ثانیه (۱/۸ متر در دقیقه) گرم کردند و پس از آن هر سه دقیقه سرعت افزایش یافت تا زمانی‌که رت‌ها قادر به راه‌رفتن نبودند و شروع به دویدن کردند. شروع شدت فعالیت استقامتی از ۴۵ درصد توان هوازی اوج با سرعت ۱۰ متر بر دقیقه در هفته اول و ۱۷ متر در دقیقه و ۷۵ درصد توان هوازی پیک ادامه یافت. گفتنی است، همه مراحل در جدول تمرینات استقامتی با شیب مثبت و منفی اعمال شد. تعداد تکرارها در تمرینات استقامتی با شیب مثبت و منفی در هفته اول با پنج تکرار بود که شامل چهار تکرار با شدت ۴۵ درصد (۱۰ متر در دقیقه) و یک تکرار ریکاوری با شدت ۲۵ درصد (پنج متر در دقیقه) بود. زمان کل یک جلسه از ۲۵ دقیقه شروع شد و تا هفته هشتم با نُه تکرار بود که شش تکرار با شدت ۷۵ درصد توان هوازی پیک با سرعت ۱۷ متر در دقیقه و سه تکرار ریکاوری با شدت ۵۰ درصد توان هوازی پیک و هفت متر در دقیقه و زمان کل یک جلسه ۶۰ دقیقه انجام شد. شایان ذکر است، تعیین زمان، میزان سرعت، شیب و شدت شوک هنگام دویدن روی نوار گردان (مدل: ماهور، تعداد کانال پنج لاین، تنظیم شیب ۱۵± درجه) به‌صورت کاملاً دیجیتالی انجام شد.

جزئیات برنامه تمرین استقامتی در جدول شماره یک ارائه شده است.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

جدول ۱- تمرین استقامتی با شیب مثبت و منفی

زمان کل تمرین (دقیقه)	سرعت ریکاوری (متر در دقیقه)	شدت ریکاوری	شدت فعالیت	سرعت تمرین (متر در دقیقه)	تکرار فعالیت و ریکاوری	هفته
۲۵	۵	٪۲۵	٪۴۵	۱۰	۴/۱	۱
۳۰	۵	٪۳۰	٪۵۰	۱۱	۴/۱	۲
۳۵	۶	٪۳۰	٪۵۵	۱۲	۵/۲	۳
۴۰	۶	٪۳۵	٪۶۰	۱۳	۵/۲	۴
۴۵	۶	٪۴۰	٪۶۵	۱۴	۵/۲	۵
۵۰	۷	٪۴۵	٪۷۰	۱۵	۶/۳	۶
۵۵	۷	٪۵۰	٪۷۵	۱۶	۶/۳	۷
۶۰	۷	٪۵۰	٪۷۵	۱۷	۶/۳	۸



شکل ۱- آزمون دویدن و ورزش اجباری برای اندازه‌گیری پارامترهای بیومکانیکی استخوان تیبیا

در انتهای هفته هشتم و یک روز پس از پایان جلسات تمرین، ابتدا رت‌ها بیهوش شدند (رت‌ها به‌مدت یک تا دو دقیقه در محفظه شیشه‌ای (دسی‌کاتور)[1] قرار داده شدند تا با استنشاق گاز اتر بیهوش شوند؛ چراکه بدین شکل حیوان مرگ راحتی خواهد داشت و آسیبی به استخوان‌ها نمی‌رسد). سپس رت‌ها تشریح شدند (پوست و عضلات ناحیه ساق و ران برش داده شد و پس از نمایان‌شدن استخوان تیبیا سمت راست رت، با دقت و بدون آسیب به ضریع، استخوان‌ها جدا شدند و بلافاصله برای جلوگیری از

1. Desiccator

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

هیدراته شدن درون لوله‌های آزمایش فالکون (۶۰ عدد، ۵۰ سی‌سی) و درون محلول نرمال سالین[1] ۱۰ درصد قرار داده شدند). پس از آن، رت‌ها در دمـای منفی ۷۰ درجـه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمـایش نگهـداری شدند. برای انتقال به آزمایشگاه، هر استخوان لیبل‌گذاری شد و در لوله‌های فالکون قرار گرفت. سپس یک سمت از اندام‌های استخوان‌های تیبیا به آزمایشگاه بیومکانیک گروه فیزیوتراپی دانشگاه تربیت مدرس برای بررسی فاکتورهای بیومکانیکی استخوان تیبیای رت‌ها توسط دستگاه نیروی خمشی سه‌نقطه‌ای[2] منتقل شد و هم‌زمان اندام طرف مقابل، برای بررسی بافت‌شناسی به آزمایشگاه پاتولوژی بیمارستان امام خمینی تهران منتقل شد.

به‌منظور اندازه‌گیری استحکام مکانیکی استخوان، از دستگاه تست خمش سه‌نقطه‌ای مدل زویک رول[3] محصول کشور آلمان استفاده شد. بلافاصله پس از خروج نمونه استخوانی از داخل سرم فیزیولوژیک نرمال سالین، تست روی استخوان‌های تیبیای تمامی رت‌ها آغاز شد؛ بدین صورت که ابتدا فک‌های دستگاه متناسب با تست خمش سه‌نقطه‌ای تنظیم شد و استخوان روی دو تکیه‌گاه فلزی به‌صورت قدامی-خلفی روی فک‌های پایینی دستگاه قرار گرفت. سطح فوقانی استخوان‌ها به‌سمت بالا قرار داده شد و زیر دو سر استخوان و نیز در محل تماس فک فوقانی دستگاه از کاغذ سمباده برای جلوگیری از لغزندگی استخوان استفاده شد. سپس بار اعمال‌شده هنگام گسیختگی بافت استخوانی و منحنی نیرو-جابه‌جایی به‌طور خودکار از طریق خروجی برنامه نرم‌افزار مرتبط در کامپیوتر متصل به دستگاه ثبت شد و پارامترهای بیومکانیکی مدنظر (سفتی برحسب نیوتن بر میلی‌متر، حداکثر مقاومت مکانیکی بر حسب نیوتن و انرژی جذب‌شده تا نقطه حداکثر استحکام برحسب نیوتن در میلی‌متر) برای هر نمونه استخوانی گزارش شد.

1. Normal Saline
2. Three-Point Bending Test
3. ZwickRoell Testing Machine

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

شکل ۲- دستگاه تست خمش سه‌نقطه‌ای

تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس نسخهٔ ۲۲ انجام شد. داده‌ها براساس میانگین و انحراف استاندارد توصیف و گزارش شد. برای تعیین اثر تمرین در شیب مثبت و منفی، ابتدا پیش‌فرض‌های تحلیل واریانس یک‌راهه شامل نرمال‌بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس به‌ترتیب با استفاده از آزمون‌های شاپیرو–ویلک و لون بررسی شد. سپس با استفاده از آزمون تی مستقل گروه‌های کنترل سالم و دویدن در شیب مثبت و منفی مقایسه شدند. با استفاده از تحلیل یک‌راهه واریانس نیز داده‌های پژوهش تحلیل شد. در صورت مشاهده تفاوت معنادار از آزمون تعقیبی (حداقل تفاوت معنادار)[1] استفاده شد. سطح معناداری برای تمام محاسبات ($P<۰/۰۵$) در نظر گرفته شد.

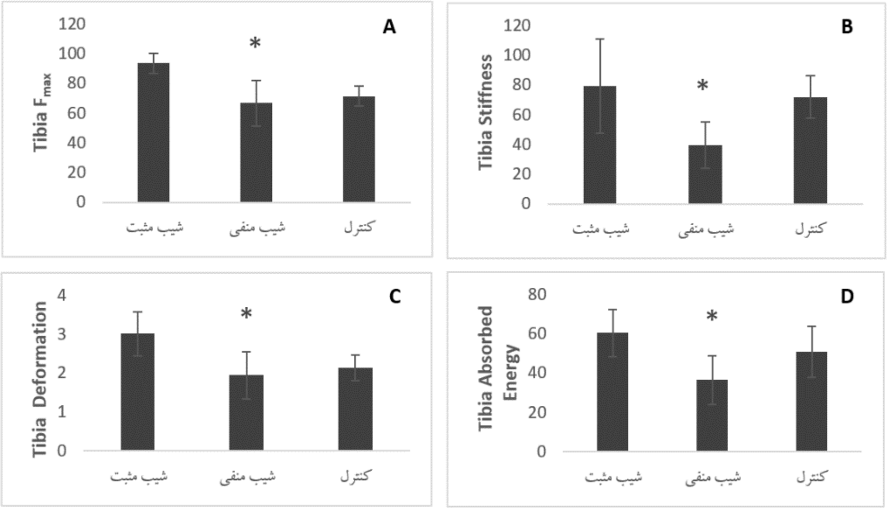
نتایج

نتایج آزمون شاپیرو–ویلک نشان داد، توزیع داده‌ها طبیعی بود. آزمون لون نیز همگنی واریانس‌ها را نشان داد؛ بر این اساس، پیش‌فرض‌های استفاده از آزمون تحلیل واریانس برقرار بود. دویدن در شیب مثبت اثر معناداری بر میزان مقاومت مکانیکی بیشینه استخوان تیبیا داشت ($P=۰/۰۰۱$). دویدن در شیب منفی موجب کاهش معنادار مقاومت مکانیکی بیشینه نسبت به گروه دویدن در شیب مثبت ($P=۰/۰۰۱$) و گروه کنترل شد ($P=۰/۰۷$) (شکل شماره یک، A). میزان سفتی استخوان تیبیا تحت‌تأثیر دویدن در شیب قرار گرفت ($P=۰/۰۱۵$). دویدن در شیب منفی در مقایسه با شیب مثبت موجب کاهش معنادار میزان سفتی استخوان تیبیا شد ($P=۰/۰۲$) (شکل شماره یک، B). میزان تغییر

1. LSD

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

شکل استخوان تیبیا تحت‌تأثیر دویدن در شیب مثبت قرار گرفت (P=۰/۰۰۶). میزان تغییر شکل استخوان تیبیا در گروه شیب مثبت به‌طور معناداری بیشتر از گروه شیب منفی (P=۰/۰۰۸) و گروه کنترل بود (P=۰/۰۲۹) (شکل شماره یک، C). میزان جذب انرژی استخوان تیبیا تحت‌تأثیر دویدن در شیب مثبت قرار گرفت (P=۰/۰۱۵). میزان جذب انرژی استخوان تیبیا در اثر دویدن در شیب منفی به‌طور معناداری در مقایسه با گروه دویدن در شیب مثبت کاهش یافت (P=۰/۰۱۴) (شکل شماره یک، D).



شکل ۳- تغییرات پارامترهای بیومکانیک استخوان تیبیا بین گروه‌های مطالعه‌شده

*: تفاوت معنادار در مقایسه با گروه دویدن در شیب مثبت و کنترل

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

جدول ۲- میانگین و انحراف استاندارد پارامترهای بیومکانیکی استخوان تیبیا در رت‌های نژاد ویستار

متغیرها میانگین (انحراف استاندارد)	مقاومت مکانیکی بیشینه (N)	سفتی (N/mm)	تغییرشکل (mm)	انرژی جذب شده (Nmm)
گروه تمرین استقامتی در شیب مثبت	۹۵/۴۴ (۳/۷۲)	(۱۷/۲۱) ۸۸/۴۹	۳/۱۶ (۰/۳۰)	۶۳/۸۳ (۶/۵۴)
گروه تمرین استقامتی در شیب منفی	۶۶/۴۶ (۲/۷۷)	(۸/۷۵) ۳۹/۲۱	۱/۹۲ (۰/۲۹)	۳۶/۲۴ (۶/۲۱)
گروه کنترل	۶۸/۲۳ (۳/۲۴)	(۶/۸۰) ۶۵/۴۹	۱/۹۷ (۰/۱۶)	۴۴/۸۷ (۶/۲۷)

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر یک دوره تمرین استقامتی هشت‌هفته‌ای دویدن در شیب مثبت و منفی بر پارامترهای بیومکانیکی استخوان تیبیا در رت‌های نر نژاد ویستار بود. . براساس نتایج، آزمودنی‌ها در گروه تمرین استقامتی دویدن روی تردمیل مخصوص جوندگان در شیب مثبت در پایان هشت هفته تمرین، در پارامترهای بیومکانیکی بحث‌شده شامل حداکثر مقاومت استخوان، تغییر شکل استخوانی و نیز بیشینه انرژی جذب‌شده، تفاوت معناداری در مقایسه با گروه کنترل (بدون فعالیت) و گروه دویدن در شیب منفی داشتند؛ به عبارت دیگر، نتایج این مطالعه نشان داد، شرکت در تمرین استقامتی دویدن در شیب مثبت توانسته است به‌طور معناداری موجب بهبود حداکثر مقاومت مکانیکی، تغییر شکل استخوان و حداکثر انرژی جذب‌شده تا نقطه حداکثر استحکام استخوان تیبیا در رت‌ها شود. براساس یافته‌های این مطالعه، به نظر می‌رسد که انجام تمرین استقامتی دویدن در شیب مثبت و منفی بر متغیر بیومکانیکی سفتی استخوان تأثیر نداشت.

از منظر عملکردی، مهم‌ترین پارامترهای بیومکانیکی استخوان شامل قدرت، سفتی و استحکام آن است که برای شناسایی و بررسی بیومکانیکی این پارامترها از رفتار استخوان در برابر نیروی خارجی استفاده می‌شود. اعمال نیروی خارجی به تغییر شکل یا تغییر ابعاد یا ساختار استخوان منجر می‌شود. زمانی که بار مشخص در یک جهت روی استخوان اعمال می‌شود، می‌توان این پارامترها را با استفاده از منحنی نیرو-تغییر شکل ارزیابی کرد (۳۱).

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

نتایج این مطالعه نشان داد، تمرین استقامتی اثر معناداری بر میزان حداکثر مقاومت مکانیکی در استخوان تیبیا دارد. تمرین باعث افزایش میزان مقاومت مکانیکی بیشینه در گروه دویدن در شیب مثبت در مقایسه با گروه دویدن در شیب منفی و گروه کنترل بود. از طرفی بین گروه دویدن در شیب منفی با گروه کنترل تفاوت معناداری در میزان مقاومت مکانیکی بیشینه مشاهده نشد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد، تمرین استقامتی در شیب مثبت می‌تواند موجب افزایش میزان نیروی بیشینه استخوان تیبیا در رت‌ها شود.

در ارتباط با این بخش از یافته‌های پژوهش، مطالعاتی نیز انجام شده است؛ برای مثال، هوانگ[1] و همکاران در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که ۱۲ هفته تمرین استقامتی (دویدن روی تردمیل) در رت‌های ماده سه‌ساله نژاد دیگری به افزایش نیروی بیشینه استخوان ران منجر شده است (۳۲). در مطالعه دیگری نیز هوانگ و همکاران نشان دادند، اجرای یک پروتکل تمرین دویدن باعث افزایش پارامترهای بیومکانیکی حداکثر مقاومت مکانیکی در استخوان‌های فمور و تیبیا در رت‌های در حال رشد می‌شود (۳۳). رنو[2] و همکاران در ارزیابی پارامترهای مکانیکی استخوان رت‌های ماده ویستار دوازده‌هفته‌ای نشان دادند، تمرین بدنی باعث افزایش نیروی بیشینه استخوان در رت‌ها شده است (۳۴). به‌علاوه، برهانی کاخکی و همکاران به این نتایج صحه گذاشتند و نشان دادند، هشت هفته تمرین استقامتی باعث بهبود پارامتر حداکثر مقاومت مکانیکی در استخوان‌های فمور و تیبیای گروه تمرین در مقایسه با گروه کنترل شده است (۲۵). در همین زمینه، ناظم و همکاران با بررسی اثر تمرینات مقاومتی و ترکیبی بر نشانگرهای بیوشیمیایی استخوان‌ساز و استحکام خمش استخوان ران رت‌های نر استئوپروتیک، افزایش اثر معنادار در شاخص حداکثر نیروی شکست استخوان را نشان دادند ($p<0.05$) (۳۵). دربارهٔ همخوانی مطالعه حاضر، احتمالاً افزایش مقاومت مکانیکی استخوان را می‌توان ناشی از بهبود خواص بیومتریال استخوان در اثر تمرینات استقامتی دویدن دانست.

در پژوهش حاضر این احتمال می‌رود که تمرین استقامتی در شیب مثبت از طریق اثراتی که بر استخوان تیبیا داشته، موجب بهبود حداکثر مقاومت مکانیکی در این استخوان شده است؛ به‌عبارتی، احتمالاً انجام تمرینات استقامتی در شیب مثبت اثر فزاینده بر محتوای آلی و مینرالی استخوان دارد؛ بااین‌حال، با توجه به کاهش این پارامتر در تمرین استقامتی در شیب منفی در آزمودنی‌ها می‌توان بیان کرد که تمرین در شیب منفی شاید آثار نامطلوبی بر استخوان داشته باشد که به نظر می‌رسد تغییر جهت مؤلفه‌های نیروی واردشده بر بدن و به‌دنبال آن بر استخوان، دلیلی بر این امر است.

---

1. Huang
2. Renno

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

در ارزیابی اثر تمرین استقامتی بر پارامتر بیومکانیکی سفتی استخوان تیبیا، نتایج نشان داد که تمرین استقامتی اثر معناداری بر سفتی استخوان تیبیا در بین گروه‌های دویدن در شیب مثبت و گروه دویدن در شیب منفی و گروه کنترل ندارد. این نتایج با یافته‌های مطالعات محمدآملی و همکاران (۳۶) و همتی فارسانی و همکاران (۳۷) همسوست. محمدآملی و همکاران به بررسی تأثیر هشت هفته تمرین مقاومتی بر متغیرهای منتخب بیومکانیکی استخوان ران رت‌های صحرایی نر مسن (بیست‌ماهه) پرداختند و بیان کردند، این نوع تمرین بر سختی استخوان ران رت‌ها تأثیر نداشته است (۳۶). علاوه بر این، همتی فارسانی و همکاران در بررسی هشت هفته تمرین استقامتی با شدت زیاد و میانه بر متغیرهای بیومکانیکی استخوان ران رت‌های صحرایی نر سالمند (۲۳ ماه) نژاد ویستار نر نشان دادند، انجام چنین تمریناتی بر قدرت استخوان رت‌های نر تأثیر نداشت (۳۷). در مطالعه هانگ و همکاران، پس از هشت هفته تمرین دویدن روی تردمیل تفاوت معناداری در میزان فاکتور بیومکانیکی سفتی استخوان‌های فمور و تیبیای در رت‌های ویستار جوان مشاهده نشد (۳۳).

درمقابل، سویج[1] و همکاران گزارش کردند، میوستاتین[2] رت‌هایی که تمرینات ورزشی روی تردمیل انجام داده‌اند، در مقایسه با میوستاتین رت‌هایی که تمرین نکرده‌اند، استحکام استخوان را افزایش داده است (۳۸). به‌علاوه، برهانی کاخکی و همکاران نشان دادند، هشت هفته تمرین استقامتی باعث بهبود پارامتر سفتی در استخوان‌های فمور و تیبیای رت‌های نر ویستار با دامنه سنی ۵۰ تا ۶۰ روز شده است (۲۵). ناظم و همکاران پس از ۱۲ هفته تمرینات مقاومتی و ترکیبی در رت‌های نر استئوپروتیک، افزایش سفتی استخوان ران رت‌ها را در برابر گروه کنترل گزارش کردند. با بررسی دقیق این مطالعات، علت تفاوت در یافته‌های پژوهش را می‌توان در عواملی مانند نوع فعالیت ازجمله استقامتی یا مقاومتی‌بودن تمرینات، پروتکل تمرینات، نژاد و سن آزمودنی‌ها، تفاوت در شدت و مدت و بار مکانیکی تمرین‌ها دانست (۳۵). همان‌طورکه عنوان شد، پارامترهای بیومکانیکی اصلی در ارزیابی بیومکانیک استخوان با استفاده از نمودار نیرو-تغییر شکل به دست می‌آید که بر این اساس، انجام تمرینات استقامتی در شیب مثبت و منفی تأثیر معناداری بر شیب این منحنی در ناحیه الاستیک نداشته است. احتمال تغییرات همسان میان افزایش نیروی اعمالی و تغییر شکل و اندازه اسنخوان دلیلی بر این اتفاق است (۳۱).

با توجه به بررسی پارامتر بیومکانیکی تغییر شکل استخوان تیبیا، تمرین استقامتی اثر معناداری بر تغییر شکل استخوان تیبیا داشت. در همین راستا، میزان تغییر شکل در گروه دویدن در شیب مثبت

1. Savage
2. Myostatin

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

بیشتر از گروه دویدن در شیب منفی و گروه کنترل بود. در تضاد با نتایج پژوهش حاضر، همتی فارسانی و دیگران گزارش کردند، تمرین استقامتی با شدت زیاد و میانه طی هشت هفته توسط رت‌های مسن بیست‌وسه ماهه، تأثیر معناداری بر پارامترهای بیومکانیکی تغییر شکل تا نقطه حداکثر استحکام استخوان ران ندارد (۳۷). به نظر می‌رسد، عوامل متعددی مانند محدوده سنی، شدت، تعداد، مدت تکرار و مسافت و شیب تمرینات استقامتی می‌توانند بر پاسخ شاخص‌های متابولیسم استخوان به مداخله فعالیت‌های ورزشی تأثیر بگذارند. احتمالاً شرکت در برنامه تمرینی استقامتی می‌تواند محتوای مواد کانی و آلی استخوان را هدف قرار دهد؛ به‌طوری‌که بخش کورتیکال استخوان را از نظر این مواد غنی‌تر می‌کند (۳۱).

در بررسی استخوان تیبیا مشاهده شد که تمرین استقامتی اثر معناداری بر میزان انرژی جذب‌شده استخوانی استخوان تیبیا دارد. میزان انرژی جذب‌شده در گروه تمرین استقامتی دویدن در شیب مثبت بیشتر از گروه تمرین استقامتی دویدن در شیب منفی و کنترل بود. در ارتباط با افزایش معنادار حداکثر انرژی جذب‌شده تا نقطه شکست در رت‌ها در پژوهش حاضر، می‌توان به همخوانی یافته‌های این نتایج با نتایج پژوهش برهانی کاخکی و همکاران اشاره کرد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد، هشت هفته تمرین استقامتی باعث بهبود پارامتر حداکثر انرژی جذب‌شده تا نقطه حداکثر استحکام در استخوان‌های فمور و تیبیای رت‌های نر ویستار در دوران جوانی می‌شود (۲۵). هانگ و همکاران نیز در مطالعه خود به تأثیر حالت‌های مختلف تمرین بر معدنی‌سازی، ساختار و خواص بیومکانیکی استخوان درحال‌رشد پرداختند. در این مطالعه که روی ۳۰ سر رت صحرایی نر ویستار سه‌هفته‌ای انجام شد، هشت هفته تمرین دویدن (تحمل وزن) باعث افزایش معنادار دو پارامتر بیومکانیکی نیروی بیشینه استخوان و حداکثر انرژی جذب‌شده تا نقطه شکست شد (۳۳). بارهای مکانیکی اعمال‌شده بر استخوان در سطح آستانه تحریک شیبی را در مایع استخوانی درون‌شبکه‌ای ایجاد می‌کند که به وقوع پدیده‌های درون‌سلولی شامل افزایش سطح کلسیم، بیان عوامل رشدی، افزایش تولید ماتریکس استخوانی و درنهایت افزایش پارامترهای منتخب مکانیکی استخوان منجر خواهد شد (۳۵).

انجام تمرینات استقامتی در شیب منفی، موجب کاهش معنادار پارامترهای بیومکانیکی در استخوان تیبیا شد. نتایج پژوهش ورنیلو[1] و همکاران حاکی از آن است که دویدن در سراشیبی باعث افزایش ضربه و نیروی ضربه تیبیا می‌شود که با آسیب‌های ناشی از استفاده بیش از حد همراه است. علاوه بر این، فعالیت عضلانی موردنیاز برای افزایش قدرت و جذب انرژی غیرعادی در حین دویدن در

1. Vernillo

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

سراشیبی، فشار بیشتری را بر بافت‌های اسکلتی عضلانی وارد می‌کند (۳۹). شیب سطح در حال اجرا نیز می‌تواند بر نیروی عکس‌العمل زمین[1] تأثیر بگذارد (۴۰)؛ به‌طوری‌که نشان داده شده است شیب منفی نُه درجه (دویدن در سرازیری) می‌تواند نیروی ضربه را تا ۵۴ درصد در مقایسه با دویدن هم‌سطح (صفر درجه) افزایش دهد (۴۱). پژوهشگران بر این باورند که دویدن در سراشیبی، به‌طورکلی به خستگی عصبی-عضلانی درخور توجهی منجر می‌شود که می‌تواند از مکانیسم‌های محیطی و مرکزی نشئت بگیرد و بر پارامترهای بیمکانیکی نیز تأثیرگذار باشد (۴۲). این نتایج از یافته‌های مطالعه حاضر پشتیبانی می‌کند. با توجه به مطالب مذکور و همچنین یافته‌های پژوهش حاضر، به‌نظر می‌رسد، مدت زمان تمرین در شیب منفی در پژوهش حاضر متناسب نبوده است.

کانگ و همکارن در مطالعه‌ای با ایجاد تغییرات فیزیولوژیک و القای خصوصیات یائسگی روی ۳۲ سر رت ماده هشت‌هفته‌ای، به بررسی تأثیر نوع تمرین هوازی روی تردمیل (سربالایی و سراشیبی) پرداختند. با توجه به نتایج این پژوهش، به نظر می‌رسد انواع تمرینات سربالایی و سراشیبی (۱۵± درجه) تأثیر مثبتی بر بیان عوامل مرتبط با استخوان‌زایی همراه با تراکم استخوان و ریزساختار دارند؛ به‌ویژه تمرین در سراشیبی تأثیرات مفیدتری بر حفظ هموستاز در طول تشکیل استخوان دارد (۴۳). مطابق مطالعه هامن و همکاران، دویدن در شیب منفی به‌طور درخور توجهی باعث افزایش میزان تراکم استخوان[2] ترابکولار[3] شد؛ درحالی‌که در گروه دویدن در سطح تغییری مشاهده نشد. براساس یافته‌های این مطالعه به نظر می‌رسد، دویدن در سراشیبی محرک قوی استخوان‌زایی در متافیز فمورال باشد (۴۴).

در پژوهش اخیر تفاوت معناداری میان پارامترهای بیومکانیکی در دویدن با شیب مثبت و منفی مشاهده شد. در هنگام راه‌رفتن و دویدن در شیب مثبت، اکستانسورهای لگن قدرت بیشتری را از تنه به پاها منتقل می‌کنند؛ یعنی قدرت را از تنه جذب می‌کنند و نیرو را به پاها می‌رسانند؛ درحالی‌که در راه‌رفتن در شیب منفی، رکتوس فموریس قدرت بیشتری را از پاها به تنه منتقل می‌کند. این دلایل و نیز تفاوت‌هایی که در انقباض‌های عضلانی به هنگام دویدن و راه‌رفتن در شیب مثبت و منفی وجود دارد نیز درخور توجه است. در شیب مثبت مؤلفه‌ها نیروی افقی و عمودی در مقایسه با شیب منفی دویدن در جهت‌های متفاوتی با هم بر بدن و مفاصل عمل می‌کنند که در این راستا انقباض‌های کانسنتریک و اسنتریک عضلانی نیز می‌تواند در نظر گرفته شود (۴۵). لازم است توضیح داده شود

---

1. Ground Reaction Force (GRF)
2. BMD
3. Trabecular Bone

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

که انرژی جذب‌شده مساحت زیر نمودار نیرو- تغییر شکل است. با توجه به تأثیرات معناداری که تمرین استقامتی در شیب مثبت بر پارامترهای حداکثر مقاومت مکانیکی و تغییر شکل استخوانی داشته است، شاید این پیش‌بینی محاسباتی و ریاضیاتی از روی نمودار توجیه‌شدنی باشد که درنتیجهٔ افزایش پارامترهای مذکور، مساحت زیر نمودار نیز به‌طور طبیعی افزایش خواهد داشت. در این پژوهش‌ها به بررسی پارامترهای بیومکانیکی استخوان پرداخته نشده است، اما با توجه به نتایج مطالعات مذکور، به نظر می‌رسد که تمرین در شیب منفی، اثر مطلوبی بر افزایش میزان تراکم استخوان دارد؛ بنابراین برای شناسایی و فهم دقیق تأثیر سراشیبی بر متغیرهای بیومکانیکی استخوان تیبیا، به انجام مطالعات بیشتری نیاز است.

پیام مقاله

درمجموع، مطالعه حاضر نشان داد که انجام تمرینات استقامتی در شیب مثبت در رت‌ها، پارامترهای بیومکانیکی استخوان تیبیا را بهبود داد. درمقابل، انجام تمرینات استقامتی در شیب منفی، اثر کاهنده‌ای را در پارامترهای بیومکانیکی استخوان نشان داد. در این مطالعه به پرسش‌هایی در زمینه برخی پارامترهای بیومکانیکی استخوانی پاسخ داده شد، اما هنوز پرسش‌های بسیاری در این راستا وجود دارد که به پاسخ نیاز دارند. به نظر می‌رسد، با بررسی دقیق مطالعات علت تفاوت یافته‌های پژوهشی را می‌توان در عواملی مانند تفاوت در نوع تمرین، محدوده‌ی سن، نژاد و طول دوره دانست؛ بنابراین در این حوزه به انجام مطالعات بیشتری نیاز است تا ارزیابی روشن‌تری را از فرایند مداخله تمرین ورزشی بر استخوان نشان دهد؛ ازاین‌رو پژوهش‌های بیشتر در این زمینه با استفاده از انواع تمرینات بدنی با شدت و حجم متفاوت توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از رساله دکتری تخصصی خانم آزیتا رواز به راهنمایی آقای دکتر علی فتاحی و مشاوره دکتر محمد علی آذربایجانی در رشته بیومکانیک ورزشی است. از همهٔ افرادی که در انجام این پژوهش کمال همکاری را با ما داشتند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌کنیم.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

منابع

1. Enoka RM. Neuromechanics of human movement. 4th ed. Sadeghi H, editor. Tehran: Hatmi; 2008.
2. Morteza Khodaee, Anna L. Waterbrook MG. Sports-related fractures, dislocations and trauma. 1st ed. Khodaee M, Waterbrook AL, Gammons M, editors. Cham: Springer International Publishing; 2020.
3. Zhang L, Yuan Y, Wu W, Sun Z, Lei L, Fan J, et al. Medium-intensity treadmill exercise exerts beneficial effects on bone modeling through bone marrow mesenchymal stromal cells. Front Cell Dev Biol. 2020;8:1–13.
4. Maffioli P, Derosa G. Overview of Biochemical markers of bone metabolism. In: biomarkers in disease: methods, discoveries and applications. Cham: Springer; 2015, pp. 1–19.
5. Hall SJ. Basic biomechanics. 4th ed. Tehran: Amirkabir University of Technology; 2017.
6. Weinstein AA, Drinkard BM, Diao G, Furst G, Dale JK, Straus SE, et al. Exploratory analysis of the relationships between aerobic capacity and self-reported fatigue in patients with rheumatoid arthritis, polymyositis, and chronic fatigue syndrome. PMR. 2009;1(7):620–8.
7. Eiseman E, Anapol F, Gray JP. Sexual dimorphism and the shape of the proximal tibia in a radiographic sample. Theses and Dissertations. 2019;2298. Available at: https://dc.uwm.edu/etd/2298
8. Christopher Ruff, Brigitte Holt ET. Who's afraid of the big bad wolff?: 'Wolff's law' and bone functional adaptation. Am J Phys Anthropol. 2006;129:484–98.
9. Beck BR, Daly RM, Singh MAF, Taaffe DR. Exercise and sports science Australia (ESSA) position statement on exercise prescription for the prevention and management of osteoporosis. J Sci Med Sport. 2017;20(5):438–45.
10. Liu L, Guo J, Chen X, Tong X, Xu J, Zou J. The role of irisin in exercise-mediated bone health. Front Cell Dev Biol. 2021;4:9.
11. Modaresi MS. The effect of two low and moderate endurance training protocols on mitochondrial dysfunction in type 2 diabetic male mice. Journal od Diabetes & Metabolic Disorders. 2020;19:1097-1103. (In Persian).
12. Troib A, Guterman M, Rabkin R, Landau D, Segev Y. Endurance exercise and growth hormone improve bone formation in young and growth-retarded chronic kidney disease rats. Nephrol Dial Transplant. 2016;31(8):1270–9.
13. Mackenzie B, Cordoza G. Power speed endurance: a skill based approach to endurance training. Las Vegas, Nev: Victory Belt Publishing; 2012.
14. Fleg JL. Aerobic exercise in the elderly: a key to successful aging. Discov Med [Internet]. 2012;13(70):223–8.
15. Palombaro KM, Black JD, Buchbinder R, Jette DU. Effectiveness of exercise for managing osteoporosis in women postmenopause. Phys Ther. 2013;93(8):1021–5.
16. Hong AR, Kim SW. Effects of resistance exercise on bone health. Endocrinol Metab. 2018;33(4):435.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

17. Escabi CD, Frye MD, Trevino M, Lobarinas E. The rat animal model for noise-induced hearing loss. J Acoust Soc Am. 2019;146(5):3692–709.
18. Abubakar AA, Noordin MM, Azmi TI, Kaka U, Loqman MY. The use of rats and mice as animal models in ex vivo bone growth and development studies. Bone Joint Res. 2016;5(12):610–8.
19. Renaud M, Farkasdi S, Pons C, Panayotov I, Collart-Dutilleul P-Y, Taillades H, et al. A New rat model for translational research in bone regeneration. Tissue Eng Part C Methods. 2016;22(2):125–31.
20. Prodinger PM, Foehr P, Bürklein D, Bissinger O, Pilge H, Kreutzer K, et al. Whole bone testing in small animals: systematic characterization of the mechanical properties of different rodent bones available for rat fracture models. Eur J Med Res. 2018;23(1):8.
21. Ishida H, Komaba H, Hamano N, Yamato H, Sawada K, Wada T, et al. Skeletal and mineral metabolic effects of risedronate in a rat model of high-turnover renal osteodystrophy. J Bone Miner Metab. 2020;38(4):501–10.
22. Osuna LGG, Soares CJ, Vilela ABF, Irie MS, Versluis A, Soares PBF. Influence of bone defect position and span in 3-point bending tests: experimental and finite element analysis. Braz Oral Res. 2021;35:e001.
23. Steiner M, Volkheimer D, Meyers N, Wehner T, Wilke H-J, Claes L, et al. Comparison between different methods for biomechanical assessment of ex vivo fracture callus stiffness in small animal bone healing studies. PLoS One. 2015;10(3):e0119603.
24. Leppänen OV, Sievänen H, Järvinen TLN. Biomechanical testing in experimental bone interventions—May the power be with you. J Biomech. 2008;41(8):1623–31.
25. Borhani Kakhki Z, Sadeghi Sadeghi H, Torkaman G, Gaeini AA, Gheidi N. The Effect of Eight Weeks Endurance Training on the Femur and Tibia Bones in Male Wistar Rats: Biomechanical and Geometrical Parameters. Stud Sport Med. 2016;8(19):43–62. (In Persian).
26. Burrows M BS. The physiology of the highly trained female endurance runner. Sport Med Auckl. 2000;30:281–300.
27. Burrows M, Nevill A M, Bird S S. Physiological factors associated with low bone mineral density in female endurance runners. Br J Sports Med. 2003;37:67–71.
28. Brahm H, Strom H, Piehl-Aulin k, Mallmin H LS. Bone metabolism in endurance trained athletes: A comparison to population-based controls based on DXA, SXA, quantitative ultrasound, and biochemical markers. Calcif Tissue Int. 1997;61:448–54.
29. Maimoun L, Galy O, Manetta J, Coste O, Peruchon E, Micallef J P et al. Competitive season of triathlon does not alter bone metabolism and bone mineral status in male triahletes. Int J Sports Med. 2004;25:230–4.
30. Transl J, Lim EJ, Ahn YC, Jang ES, Lee SW, Lee SH, et al. Systematic review and meta - analysis of the prevalence of chronic fatigue syndrome / myalgic encephalomyelitis (CFS /ME). J Transl Med. 2020;18(1):1–15.
31. Margareta Nordin VHF. Basis biomechanics of musculoskeletal system. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2012.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

32. Huang T-H, Chang F-L, Lin S-C, Liu S-H, Hsieh SS, Yang R-S. Endurance treadmill running training benefits the biomaterial quality of bone in growing male Wistar rats. J Bone Miner Metab. 2008;26(4):350–7.
33. Huang TH, Lin SC, Chang FL, Hsieh SS, Liu SH, Yang RS. Effects of different exercise modes on mineralization, structure, and biomechanical properties of growing bone. J Appl Physiol. 2003;95(1):300–7.
34. Renno A, Silveiragomes A, Nascimento R, Salvini T, Parizoto N. Effects of a progressive loading exercise program on the bone and skeletal muscle properties of female osteopenic rats. Exp Gerontol. 2007;42(6):517–22.
35. Nazem F, Salehikia A, Marandi SM, Sahdadi A. Impact of a 12 week resistance and concurrent training on bone mechanical strength and mineral density of osteoporotic male Wistar rats. Journal of Kashan University of Medical Sciences (FEYZ). 2016;20(2):108–17. (In Persian).
36. Mohammad Amoli S, Sadeghi H. The effect of eight weeks of strength training on selected biomechanical properties of femur in old male rats. J Sport Biomech. 2017;3(1):47–54. (In Persian).
37. Hemati Farsani S, Banitalebi E, Faramarzi M, Bigham-Sadegh A. The effect of eight weeks of moderate and high intensity endurance training on biomechanical properties of femur in old male wistar rats. Iran J Orthop Surg. 2020;16(2):205–13. (In Persian).
38. Savage KJ, McPherron AC. Endurance exercise training in myostatin null mice. Muscle Nerve. 2010;42(3):355–62.
39. Vernillo G, Giandolini M, Edwards WB, Morin J-B, Samozino P, Horvais N, et al. Biomechanics and physiology of uphill and downhill running. Sport Med. 2017;47(4):615–29.
40. Azevedo L. Risk factors for achilles tendinopathy in runners – an investigation of selected intrinsic, kinematic, kinetic and muscle activity factors that are associated with Achilles tendinopathy [Doctoral dissertation]. University of Cape Town; 2008.
41. Gottschall JS, Kram R. Ground reaction forces during downhill and uphill running. J Biomech. 2005;38(3):445–52.
42. Bontemps B, Vercruyssen F, Gruet M, Louis J. Downhill Running: What Are The Effects and How Can We Adapt? A Narrative Review. Sport Med. 2020;50(12):2083–110.
43. Kang Y-S, Kim C-H, Kim J-S. The effects of downhill and uphill exercise training on osteogenesis-related factors in ovariectomy-induced bone loss. J Exerc Nutr Biochem. 2017;21(3):1–10.
44. Hamann N, Kohler T, Müller R, Brüggemann G-P, Niehoff A. The effect of level and downhill running on cortical and trabecular bone in growing rats. Calcif Tissue Int. 2012;90(5):429–37.
45. Pickle NT, Grabowski AM, Auyang AG, Silverman AK. The functional roles of muscles during sloped walking. J Biomech. 2016;49(14):3244–51.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License

ارجاع‌دهی

روّاز آزیتا، فتاحی علی، آذربایجانی محمدعلی. تأثیر یک دوره تمرین استقامتی هشت‌هفته‌ای دویدن در شیب مثبت و منفی بر پارامترهای بیومکانیکی استخوان تیبیا در رت‌های نر نژاد ویستار. مطالعات طب ورزشی. تابستان ۱۴۰۱؛ ۱۴(۳۲)، ۸۲-۱۵۹.
شناسهٔ دیجیتال: 10.22089/SMJ.2022.13231.1615

Ravaaz A, Fatahi A, Azarbayjani A. The Effect of an Eight-Week Endurance Training of Running on Positive and Negative Inclination on the Biomechanical Parameters of Tibia Bone in Male Wistar Rats. Sport Medicine Studies. Summer 2022; 14 (32): 159-82. (Persian). Doi: 10.22089/SMJ.2022.13231.1615

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public License