

Research Paper



Comparison of Kinetic and Kinematic Parameters of Walking Between Healthy Individuals and Patients with Heart Disease

Kamran Salimi¹, *Korosh Nakhaei², Seyed Farhad Tabatabai Ghomsheh³, Pedram Tehrani¹, Shahrokh Shojaei¹

1. Department of Biomedical Engineering, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Department of Biomedical Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran.

3. Pediatric Neurorehabilitation Research Center, Ergonomics Department, Faculty of Rehabilitation Sciences, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran.

Use your device to scan and
read the article online



Citation: Salimi K, Nakhaei K, Tabatabai Ghomsheh SF, Tehrani P, Shojaei S. Comparison of Kinetic and Kinematic Parameters of Walking Between Healthy Individuals and Patients with Heart Disease. Journal of Sport Biomechanics.2025;11(3):288-304. <https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.3.288>

<https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.3.288>



Article Info:

Received: 19 April 2025

Accepted: 29 July 2025

Available Online: 29 July 2025

Keywords:

Motion analysis, Kinetics,
Kinematics, Heart disease

ABSTRACT

Objective Cardiovascular diseases, particularly chronic heart failure, impair cardiac function, leading to muscle weakness and reduced motor control—factors that negatively affect gait quality. This study aimed to compare gait parameters between patients with chronic heart failure and healthy individuals.

Methods Twenty patients with chronic heart failure (mean age: 54 ± 1.9 years; BMI: 22.5 ± 4.5) and twenty healthy controls (mean age: 54.3 ± 1.6 years; BMI: 26.5 ± 1.5) participated in the study. Kinematic and kinetic data from the dominant lower limb were collected during walking using a Basler 3D motion analysis system and a Kistler force plate. Statistical analysis was performed using SPSS software, employing independent t-tests and Mann–Whitney U tests, with the significance level set at $p < 0.05$.

Results Significant differences in kinetic and kinematic gait parameters were observed between the patient and control groups. In the sagittal plane, ankle plantarflexion moments and knee and hip extension moments were reduced. In the frontal plane, decreases were found in knee varus and hip adduction moments. In the transverse plane, knee external rotation and hip internal rotation moments were also diminished. Hip and knee joint ranges of motion were significantly reduced, and ground reaction forces differed in the sagittal plane. While joint stiffness did not differ significantly, patients exhibited unstable gait patterns.

Conclusion Chronic heart failure substantially alters gait biomechanics. Decreased joint moments and range of motion across all planes, along with lateral muscle weakness and compensatory strategies, contribute to impaired gait stability. Although joint stiffness did not differ significantly, variability in the data suggested underlying functional instability. Notably, only the ground reaction force in the sagittal plane showed a significant difference.

* Corresponding Author:

Korosh Nakhaei

Address: Department of Biomedical Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran.

Tel: +98 (912) 1998364

E-mail: koorosh.n2020@gmail.com

Extended Abstract

1. Introduction

Cardiovascular diseases (CVD), particularly chronic heart failure (CHF), represent a major global public health challenge and remain among the leading causes of mortality and morbidity worldwide. CHF affects over 26 million individuals globally, with its prevalence steadily rising due to aging populations and lifestyle-related risk factors such as hypertension, obesity, diabetes, and physical inactivity. CVD encompasses a broad spectrum of conditions, including coronary artery disease, myocardial infarction, arrhythmias, and peripheral artery disease. Among these, CHF is especially debilitating due to its progressive nature, which leads to fatigue, dyspnea, reduced physical capacity, and a markedly diminished quality of life. One of the less-explored consequences of CHF is its impact on neuromuscular coordination and locomotor function, particularly gait performance. Evidence suggests that individuals with CHF often exhibit abnormal gait patterns due to muscle weakness, balance impairments, early onset of fatigue, and compensatory movement strategies—all of which contribute to an increased risk of falls and further physical decline. Despite the clinical relevance of gait biomechanics in understanding functional limitations in CHF, the routine use of gait analysis in clinical practice remains limited. A comprehensive biomechanical assessment of gait has the potential to detect early signs of functional deterioration and inform personalized rehabilitation strategies. Therefore, the present study aims to examine the differences in gait kinematics and kinetics between patients with CHF and healthy controls, focusing on joint angles and joint moments across multiple planes of motion. These insights may enhance our understanding of functional deficits in CHF and support the development of targeted therapeutic interventions.

2. Methods

This case-control study included a total of 40 participants: 20 patients diagnosed with CVD, specifically chronic heart failure (CHF), and 20 age- and BMI-matched healthy controls. The patients (mean age = 53.7 ± 9.5 years; mean BMI = 22.5 ± 4.5) were referred by cardiologists and had confirmed CHF diagnoses based on clinical evaluation and echocardiographic findings. Exclusion criteria were the presence of musculoskeletal disorders, neurological impairments, or any other conditions that could affect gait performance. Gait data were collected using a high-resolution three-dimensional motion capture system (Basler, Germany) operating at 200 Hz with a 7K resolution. Reflective markers were bilaterally placed on key anatomical landmarks following a standardized biomechanical model (e.g., Plug-in Gait). Simultaneously, ground reaction forces were recorded using a Kistler force plate (Kistler, Switzerland) at a sampling frequency of 1000 Hz. Participants performed multiple walking trials on a 10-meter walkway at their self-selected comfortable speed. The most consistent and representative gait cycles were selected for analysis. Kinematic parameters included joint angles and ranges of motion, while kinetic parameters focused on joint torques and ground reaction forces, specifically in the sagittal, frontal, and transverse planes. To maintain consistency, only data from the dominant limb were analyzed. All data were processed and filtered using standard biomechanical protocols. Statistical analyses were performed using SPSS version 23. Independent *t*-tests were used for normally distributed variables, and Mann–Whitney *U* tests were applied for non-normally distributed variables. A significance level of $p < 0.05$ was considered statistically significant.

3. Results

The findings revealed significant alterations in joint torque patterns among patients with CHF compared to healthy controls. In the sagittal plane, reduced ankle plantarflexion torque during push-off ($p = 0.045$), decreased knee extension torque ($p = 0.010$), and diminished hip extension torque at heel contact ($p = 0.030$) were observed. Frontal plane analysis showed a significant reduction in knee varus torque during early stance ($p = 0.021$) and hip adduction torque during mid-stance ($p = 0.027$). In the transverse plane, both knee external rotation torque ($p = 0.038$) and hip internal rotation torque ($p = 0.042$) were significantly lower in CHF patients (Fig. 1). Joint range of motion (ROM) was also significantly reduced, particularly in knee flexion during the swing phase ($p = 0.002$) and in total hip motion ($p = 0.005$).

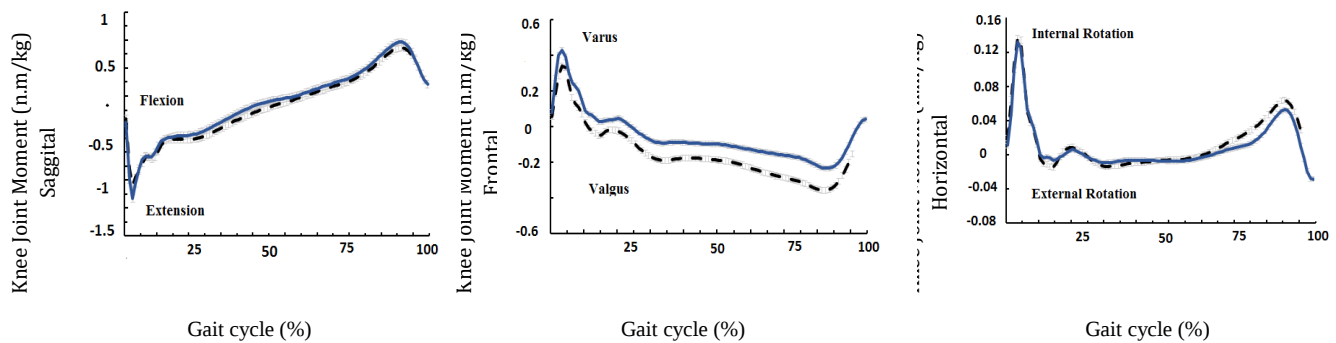


Fig. 1. Joint torque parameters in the horizontal plane during walking in the control and patient groups.

Significant differences in ground reaction forces (GRF) were found only in the sagittal plane, where both mean ($p = 0.009$) and minimum values ($p = 0.011$) were higher in patients compared to controls. However, joint stiffness did not show statistically significant differences across all planes, likely due to considerable inter-subject variability and overlapping values. Kinematic analysis indicated relatively higher mean hip angles in the sagittal plane among CHF patients, possibly reflecting a compensatory strategy to maintain propulsion and balance. The observed reductions in hip and knee extensor torques suggest underlying neuromuscular weakness or impaired motor control mechanisms. Overall, gait in CHF patients appeared less efficient and more variable, underscoring the need for comprehensive biomechanical assessment and individualized rehabilitation strategies aimed at addressing functional deficits and enhancing postural stability.

4. Discussion

This study demonstrated that chronic heart failure (CHF) significantly affects gait biomechanics. Compared to healthy controls, patients with CHF exhibited marked alterations in joint kinematics, kinetics, joint stiffness, and ground reaction forces (GRFs) across the sagittal, frontal, and transverse planes. In the sagittal plane, significant reductions in ankle plantarflexion and dorsiflexion moments during push-off, along with decreased hip and knee range of motion during the swing phase, indicated impaired propulsion and diminished lower limb functionality. Although differences in joint angles and stiffness in the frontal plane did not reach statistical significance, CHF patients exhibited reduced adduction/abduction moments and limited lateral knee motion. These findings suggest weakness in stabilizing musculature and compromised balance control. In the transverse plane, decreased rotational moments and reduced range of motion at the hip and knee, combined with increased ankle rotational moments, pointed to compensatory strategies aimed at mitigating unwanted rotational instability. Joint stiffness did not differ significantly between groups in any plane. The high inter-subject variability and overlapping standard deviations limited its clinical utility as a discriminative measure. GRF analysis revealed statistically significant differences only in the sagittal plane, particularly in variability and peak loading, underscoring the relevance of this parameter in clinical gait assessment. Notably, CHF patients exhibited increased hip joint angles, elevated ankle rotational moments, and reduced sagittal plane moments at proximal joints. These patterns reflect diminished gait efficiency and heightened postural instability. The findings underscore the importance of a multidimensional gait assessment approach—integrating biomechanical and neuromechanical metrics—and support the development of tailored rehabilitation programs to enhance functional mobility and balance in individuals with CHF.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

There were no ethical considerations to be addressed in this research.

Funding

This research did not receive any financial support from government, private, or non-profit organizations.

Authors' contributions

All authors contributed equally to preparing the article.

Conflicts of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest associated with this article.

مقاله پژوهشی

مقایسه پارامترهای کینتیکی و کینماتیکی در راه رفتن بین افراد سالم و افراد با بیماری نارسایی مزمن قلبی

کامران سلیمی^۱، *کوروش نخعی^۲، سیدفرهاد طباطبایی قمشه^۳، پدram طهرانی^۱، شاهرخ شجاعی^۱

۱. گروه مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران، ایران.

۲. گروه مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، تهران، ایران.

۳. مرکز تحقیقات توان بخشی اعصاب اطفال، گروه ارگونومی، دانشکده علوم توان بخشی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

**Citation:** Salimi K, Nakhaei K, Tabatabai Ghomsheh SF, Tehrani P, Shojaei S. Comparison of Kinetic and Kinematic Parameters of Walking Between Healthy Individuals and Patients with Heart Disease. Journal of Sport Biomechanics.2025;11(3):288-304. <https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.3.288> <https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.11.3.288>

چکیده

هدف بیماری‌های قلبی، به‌ویژه نارسایی مزمن قلبی، با اختلال در عملکرد قلب، موجب ضعف عضلانی و کاهش کنترل حرکتی می‌شوند و کیفیت راه رفتن را تحت تأثیر قرار می‌دهند. هدف این مطالعه، مقایسه پارامترهای حرکتی بیماران نارسایی قلبی و افراد سالم در حین راه رفتن بود.

روش‌ها در این مطالعه، گروه بیمار شامل ۲۰ بیمار مبتلا به نارسایی مزمن قلبی (میانگین سنی $54 \pm 1/9$ سال، شاخص توده بدنی $22/5 \pm 5/4$) و گروه کنترل شامل ۲۰ فرد سالم (میانگین سنی $54/3 \pm 1/6$ سال، شاخص توده بدنی $26/5 \pm 1/5$) بررسی شدند. داده‌های کینماتیکی و کینتیکی اندام تحتانی غالب در حین راه رفتن با سیستم تحلیل حرکت سه‌بعدی Basler و صفحه نیروی Kistler جمع‌آوری شد. تحلیل آماری با نرم‌افزار SPSS و آزمون‌های t مستقل و یو-من-ویتنی با سطح معناداری $p < 0/05$ انجام شد.

یافته‌ها نتایج مطالعه نشان داد بیماران نارسایی قلبی نسبت به افراد سالم در پارامترهای کینتیکی و کینماتیکی راه رفتن تفاوت معناداری دارند. در صفحه ساجیتال، گشتاورهای پلاتنارفلکشن میچ، اکستنشن زانو و ران کاهش یافت. در صفحه فرونتال، گشتاور واروس زانو و اداکشن ران کمتر بود. در صفحه افقی نیز گشتاور چرخشی خارجی زانو و چرخشی داخلی ران کاهش داشت. دامنه حرکتی مفاصل زانو و ران کاهش معناداری داشت و در نیروی عکس‌العمل زمین نیز تفاوت‌هایی در صفحه ساجیتال مشاهده شد. سفتی مفاصل تفاوت معناداری نداشت، اما الگوی حرکتی ناپایدار در بیماران مشهود بود.

نتیجه‌گیری این مطالعه نشان داد نارسایی مزمن قلبی موجب اختلالات معنادار در الگوی راه رفتن می‌شود. کاهش گشتاورها و دامنه حرکتی در صفحات مختلف، ضعف عضلات جانبی و الگوهای جبرانی، از کاهش پایداری حرکتی بیماران حکایت دارد. سفتی مفاصل تفاوت معناداری نداشت، تنها در صفحه ساجیتال، نیروی عکس‌العمل زمین تفاوت معنادار داشت.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۲۳ خرداد ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۷ تیر ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۷ تیر ۱۴۰۴

کلید واژه‌ها:

آنالیز حرکت، کینتیک،

کینماتیک، بیماران نارسایی

مزمن قلبی

*نویسنده مسئول:

کوروش نخعی

آدرس: گروه مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، تهران، ایران.

تلفن: ۱۹۹۸۳۶۴ (۹۱۲) +۹۸

ایمیل: koorosh.n2020@gmail.com

مقدمه

نارسایی مزمن قلبی (CHF) یکی از جدی‌ترین اختلالات قلبی-عروقی محسوب می‌شود که شیوع آن با افزایش سن افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که حدود ۱٪ از افراد با سن بیشتر از ۵۰ سال و بیش از ۱۰٪ از افراد با سن بیشتر از ۸۰ سال به آن مبتلا هستند (۱). برآوردها نشان می‌دهد که بیش از ۲۶ میلیون نفر در سراسر جهان از این بیماری رنج می‌برند (۲). این اختلال در نتیجه کاهش توان پمپاژ قلب، موجب اختلال در عملکرد طبیعی سیستم گردش خون می‌شود و بسته به محل آسیب در قلب، علائم بالینی متنوعی را ایجاد می‌کند (۳). در نارسایی بطن چپ، احتباس مایع در ریه‌ها منجر به تنگی نفس می‌گردد، درحالی‌که نارسایی بطن راست با تجمع مایع در اندام‌های محیطی، به‌ویژه اندام تحتانی، و بروز ادم و احساس سنگینی همراه است. این وضعیت مزمن اثرات قابل توجهی بر کیفیت زندگی بیماران داشته و نیازمند مراقبت، پایش و درمان مداوم است (۴). علاوه بر اثرات فیزیولوژیک، CHF منجر به تغییرات بیومکانیکی در الگوی راه رفتن نیز می‌شود؛ به‌گونه‌ای که سرعت ترجیحی راه رفتن در بیماران مبتلا به این بیماری به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (۵، ۶).

در بیماران مبتلا به نارسایی قلبی مزمن، عضله سه سر ساق که یکی از عضلات اصلی درگیر در فعالیت‌های عملکردی از جمله راه رفتن و ایستادن است، بیش از سایر عضلات اندام تحتانی دچار آتروفی می‌شود. این آتروفی عضلانی که ناشی از کاهش پرفیوژن بافتی، کم‌حرکی و اجتناب از فعالیت‌های فیزیکی منظم است، یکی از عوارض شایع در این بیماران به شمار می‌رود. کاهش توده و قدرت عضلانی ناشی از این وضعیت، به افت چشمگیر در تحمل حین ورزش کردن و بروز مشکلات حرکتی منجر می‌شود و عملکرد روزمره بیماران را به‌طور قابل توجهی مختل می‌سازد. تغییرات بیومکانیکی ناشی از آتروفی عضلانی، به‌ویژه در عضلات ساق پا، می‌تواند منجر به کاهش سرعت، ثبات و کارایی راه رفتن شود؛ بنابراین، راه رفتن به‌عنوان یکی از الگوهای پایه‌ای حرکتی، شاخصی مهم در ارزیابی ظرفیت عملکردی بیماران مبتلا به نارسایی قلبی محسوب می‌شود (۷، ۸). تحقیقات نشان داده‌اند که سرعت ترجیحی راه رفتن در بیماران مبتلا به نارسایی قلبی مزمن با شاخص‌های بالینی حیاتی نظیر نرخ بستری در بیمارستان و میزان مرگ‌ومیر مرتبط است (۹). ازاین‌رو، تحلیل الگوی راه رفتن نه‌تنها به درک بهتر پیامدهای عملکردی بیماری کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به‌عنوان ابزاری کاربردی در تشخیص و پیش‌آگهی نارسایی قلبی مورد استفاده قرار گیرد (۱۰). لازم به ذکر است که درک دقیق از تأثیر نارسایی قلبی مزمن بر الگوی حرکتی بیماران نیازمند بررسی جامع پارامترهای بیومکانیکی، به‌ویژه کینماتیکی و کینتیکی اندام تحتانی در حین راه رفتن است (۱۱-۱۴). با توجه به نکات ذکرشده، تحلیل بیومکانیکی راه رفتن افراد سالم و بیماران مبتلا به نارسایی مزمن قلبی، به‌ویژه در ارتباط با استراتژی‌های انرژی مکانیکی و حرکات اندام تحتانی، می‌تواند به درک دقیق‌تری از تفاوت‌های موجود در چرخه راه رفتن این بیماران کمک کند (۱۵). علی‌رغم وجود پژوهش‌هایی در زمینه کینتیک و کینماتیک راه رفتن در افراد سالم و بیماران قلبی، خلأ قابل توجهی در بررسی جامع و هم‌زمان متغیرهای کینماتیکی، کینتیکی و مکانیکی دیده می‌شود (۱۶، ۱۷). بنابراین، این مطالعه با تمرکز بر تحلیل غیرتهاجمی پارامترهای بیومکانیکی راه رفتن، به‌ویژه متغیرهای مرتبط با زوایای مفصلی و گشتاورهای تولیدی در اندام تحتانی، با هدف مقایسه ویژگی‌های کینماتیکی و کینتیکی بین بیماران مبتلا به نارسایی مزمن قلبی و افراد سالم انجام شد تا با شناسایی تفاوت‌های عملکردی، زمینه‌ای برای توسعه ابزارهای بالینی تشخیصی و مداخلات توان‌بخشی فراهم گردد.

1. Chronic Heart Failure

روش شناسی

آزمودنی‌ها

این مطالعه از نوع کمی، با طراحی نیمه تجربی و ماهیت کاربردی بود. جامعه آماری پژوهش را بیماران مرد مبتلا به نارسایی مزمن قلبی تشکیل دادند که به بیمارستان تخصصی قلب در شهر ساری مراجعه کرده بودند. در مجموع، ۲۰ بیمار مبتلا به نارسایی مزمن قلبی از طریق روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند. همچنین، به منظور مقایسه، ۲۰ فرد سالم همتای سنی از طریق روش نمونه‌گیری تصادفی انتخاب گردیدند. به منظور کنترل متغیرهای مداخله‌گر، از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای بهره گرفته شد. حجم نمونه بر اساس تحلیل توان با استفاده از نرم‌افزار G*Power و با در نظر گرفتن سطح معناداری ۰/۰۵، توان آزمون ۸۰ ($\beta = 0.8$) تعیین گردید. معیارهای ورود به مطالعه شامل مردان در رده سنی ۴۵ تا ۶۰ سال با تشخیص قطعی نارسایی قلبی مزمن در کلاس عملکردی II یا III بر اساس طبقه‌بندی انجمن قلب نیویورک (NYHA) (۱۸)، توانایی راه رفتن بدون وسایل کمکی و عدم سابقه ابتلا به بیماری‌های عصبی یا اختلالات اسکلتی-عضلانی بود. معیارهای خروج شامل سابقه جراحی در اندام تحتانی، ناتوانی در اجرای پروتکل‌های آزمون و مصرف داروهای مؤثر بر تعادل یا عملکرد حرکتی بود. طرح پژوهش پس از بررسی‌های لازم، توسط کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی با شماره پرونده IR.IAU.CTB.REC.1403.031 تصویب شد.

ابزار و روش اجرا

به منظور ثبت داده‌های حرکتی، از سیستم تحلیل حرکت سه‌بعدی باستلر با فرکانس نمونه‌برداری ۲۰۰ هرتز و وضوح تصویری ۷K استفاده شد (شکل ۱). برای ثبت نیروهای عکس‌العمل زمین نیز از صفحه نیروی کیستلر با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز بهره گرفته شد. به منظور کنترل سرعت ترجیحی راه رفتن، از دوربین‌های اپتیکال و نرم‌افزار وایکان استفاده گردید. پای برتر شرکت‌کنندگان از طریق پرسش در مورد ترجیح پا برای شوت کردن و آزمون تعادل تعیین شد (۱۹). به هر شرکت‌کننده پیش از اجرای آزمون، به مدت حداقل ۵ دقیقه زمان جهت گرم کردن و آشنایی با محیط آزمون اختصاص داده شد. سپس، هر آزمودنی حداکثر ۱۵ مرتبه به راه رفتن با سرعت ترجیحی پرداخت که از میان آن‌ها، تنها سه تلاش موفق برای تحلیل نهایی انتخاب و وارد فرآیند پردازش شد. میانگین سرعت ترجیحی راه رفتن در بین آزمودنی‌ها برابر با ۲/۶ متر بر ثانیه گزارش شد.



شکل ۱. محل نصب مارکرها (۵)

پردازش داده‌ها

داده‌های حرکتی با استفاده از روش دینامیک معکوس و بر اساس اطلاعات ثبت‌شده توسط سیستم تحلیل حرکت سه‌بعدی پردازش شدند. متغیرهای کینماتیکی شامل زوایای مفاصل ران، زانو و مچ پا در صفحه سهمی و متغیرهای کینتیکی شامل گشتاورهای مفصلی محاسبه گردید. برای حذف نویز از فیلتر باتروورث مرتبه دوم با فرکانس قطع ۶ هرتز و فیلتر کالمن استفاده شد. کلیه مراحل پردازش داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام گرفت.

تحلیل آماری

برای تحلیل آماری داده‌ها، از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ استفاده شد. بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک انجام گردید. نتایج نشان داد که میانگین و حداکثر زاویه مفصل ساق پا در صفحه سهمی و میانگین گشتاور مفصل مچ پا در صفحه افقی از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. بر این اساس، جهت مقایسه بین گروه‌ها، با توجه به نوع توزیع داده‌ها، از آزمون t مستقل برای داده‌های نرمال و آزمون یو-من-ویتنی برای داده‌های غیرنرمال استفاده شد. سطح معناداری کلیه آزمون‌ها برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

نتایج

مشخصات آنتروپومتریک آزمودنی‌های شرکت‌کننده در این مطالعه در **جدول ۱** ارائه شده است. این مشخصات شامل میانگین و انحراف معیار سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی به تفکیک گروه‌های کنترل و بیمار می‌باشد. همان‌طور که در **جدول ۱** نشان داده شده است، میانگین سنی گروه بیمار و گروه کنترل بسیار نزدیک به یکدیگر بود (اختلاف کمتر از ۲٪) و تفاوت آماری معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد ($p = ۰/۱۰۱$). قد افراد در هر دو گروه تقریباً برابر بود؛ به‌طوری‌که میانگین قد گروه بیمار تنها حدود ۰/۵ درصد بیشتر از گروه کنترل بود که این اختلاف نیز از نظر آماری معنی‌دار نبود ($p = ۰/۱۲۹$). میانگین وزن گروه بیماران حدود ۲/۸ درصد بیشتر از گروه کنترل بود که با وجود اختلاف حدود ۲/۸ درصد، تفاوت معناداری مشاهده نگردید ($p = ۰/۶۷$). همچنین، شاخص توده بدنی در گروه بیماران ۳ درصد بیشتر از گروه کنترل بود که این اختلاف به سطح معناداری آماری نرسید ($p = ۰/۲۱۳$). نتایج مربوط به گشتاور مفاصل در گام‌برداری در سه صفحه حرکتی در **شکل ۲** ارائه شده است. همان‌طور که در **شکل ۲** مشاهده می‌شود، تفاوت‌های آماری معناداری در گشتاورهای مفاصل اندام تحتانی در هر سه صفحه حرکتی بین گروه‌های بیمار و کنترل مشاهده شد. در صفحه سهمی، گروه بیمار به‌طور قابل‌توجهی گشتاورهای کمتری در مفاصل مچ پا، زانو و ران نشان داد که این کاهش در برخی فازهای چرخه راه رفتن از نظر آماری معنادار بود.

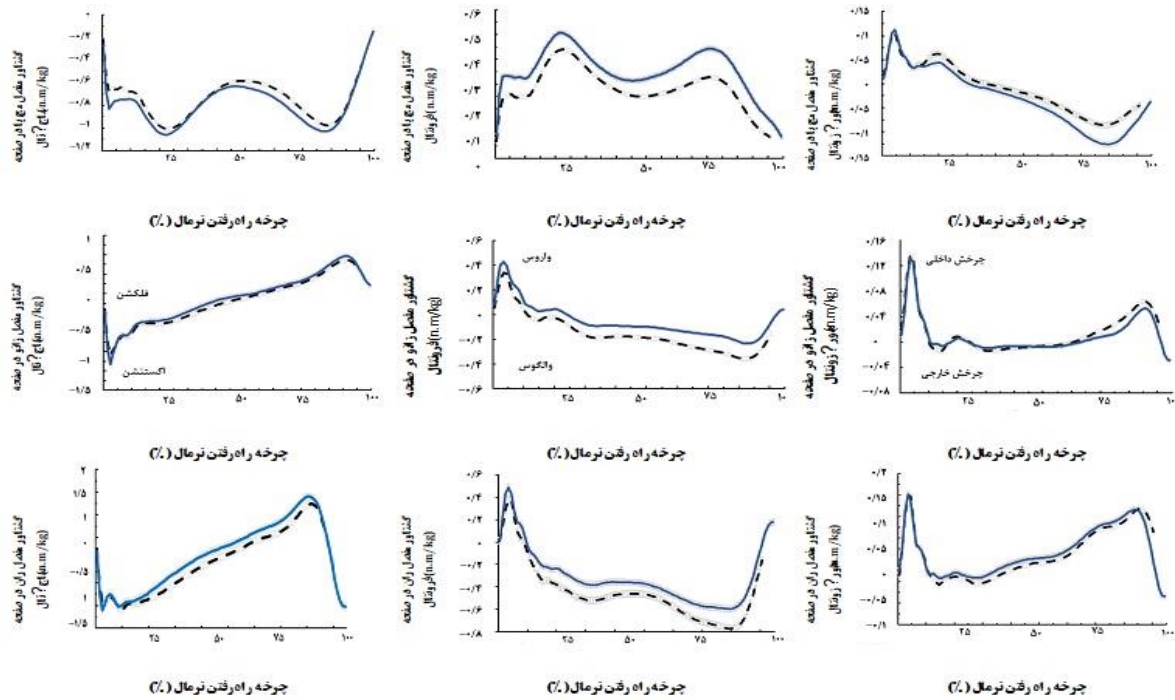
جدول ۱. مشخصات آنتروپومتري آزمودنی‌ها

گروه بیمار (انحراف معیار $\pm$ میانگین)				گروه کنترل (انحراف معیار $\pm$ میانگین)				سطح معنی‌داری							
تعداد افراد				۲۰				۲۰				---			
سن (سال)				۵۴/۰۰ $\pm$ ۱/۹۱				۵۴/۳۰ $\pm$ ۱/۲				۰/۱۰۱			
قد (سانتی‌متر)				۱۷۰/۹۵ $\pm$ ۰/۲۹				۱۷۰/۰۷ $\pm$ ۰/۵				۰/۱۲۹			
وزن (کیلوگرم)				۷۹/۸۵ $\pm$ ۲/۰۹				۷۷/۶۵ $\pm$ ۲/۹۱				۰/۶۷۰			
شاخص توده بدنی				۲۷/۳۸ $\pm$ ۲/۹۰				۲۶/۵۷ $\pm$ ۱/۵۵				۰/۲۱۳			

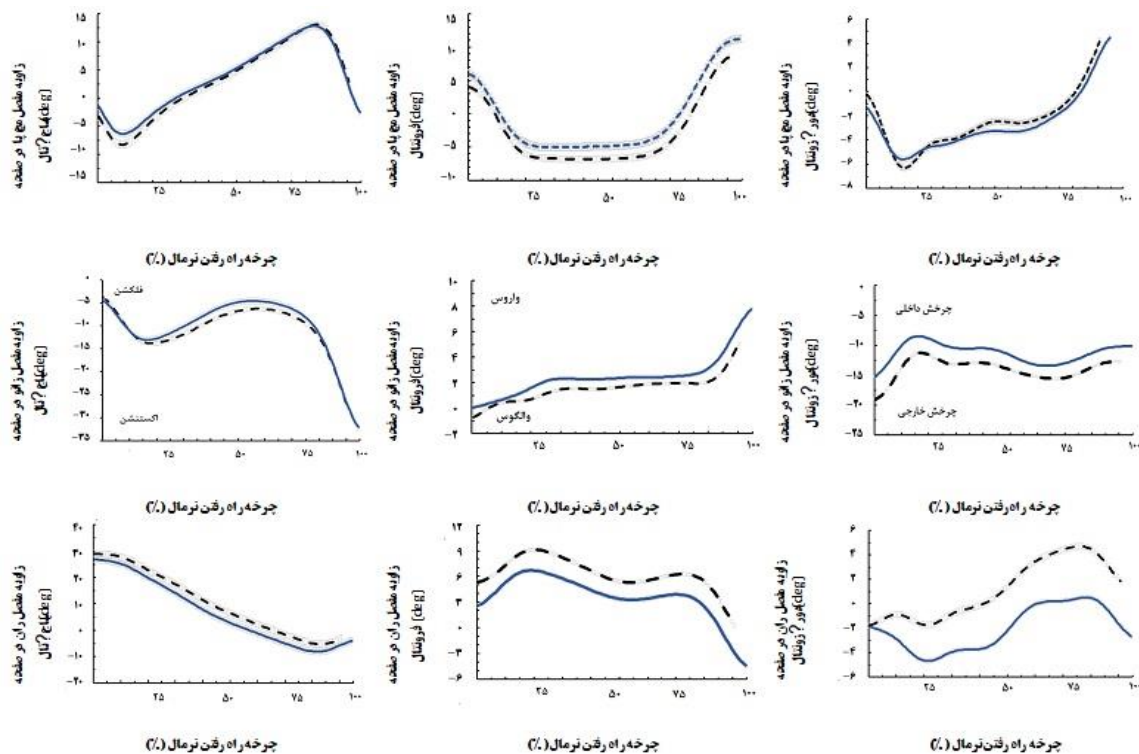
برای نمونه، در فاز پیش‌رانش، گشتاور پلاتنارفلکشن مچ پای بیماران به‌طور معناداری کمتر از گروه کنترل بود ($p = ۰/۰۴۵$) در این فاز، گشتاور اکستنشن زانو در بیماران کاهش معنی‌داری نسبت به گروه کنترل داشت ($p = ۰/۰۱$). در فاز تماس پاشنه نیز کاهش گشتاور اکستنشن ران در گروه بیمار نسبت به گروه کنترل معنادار بود ($p = ۰/۰۳$) این یافته‌ها ممکن است بازتاب ضعف عملکرد عضلات خلفی اندام تحتانی یا اختلالات عصبی-عضلانی در بیماران باشد. در صفحه عرضی، تفاوت‌های قابل‌توجهی در گشتاورهای جانبی بین دو گروه مشاهده شد. کاهش معنادار گشتاور واروس زانو در فاز باربرداری اولیه در گروه بیمار نسبت به گروه کنترل دیده شد ($p = ۰/۰۲۱$) که می‌تواند بیانگر ضعف در تثبیت جانبی مفصل زانو باشد. همچنین در مفصل ران، گشتاور اداکشن در فاز میانی چرخه راه رفتن در بیماران کاهش معناداری داشت ($p = ۰/۰۲۷$) که ممکن است ناشی از ضعف کنترل تعادل جانبی و ناپایداری لگن در این افراد باشد. در صفحه افقی، الگوهای گشتاور چرخشی در گروه بیماران نسبت به گروه کنترل تفاوت‌های قابل‌توجهی داشت. در فاز تماس پاشنه، گشتاور چرخشی خارجی مفصل زانو در بیماران به‌طور معناداری کمتر بود ($p = ۰/۰۳۸$). همچنین در گشتاور چرخشی داخلی مفصل ران در فاز میانی باربرداری کاهش معنی‌داری مشاهده شد ($p = ۰/۰۴۲$). این تغییرات ممکن است نشان‌دهنده اختلالات مکانیکی یا محدودیت دامنه حرکتی در حرکات چرخشی اندام تحتانی باشد. به‌طور کلی، یافته‌ها بیانگر آن است که گروه بیمار نه تنها از نظر شدت گشتاور بلکه در زمان‌بندی و الگوی تولید گشتاور مفاصل نیز تفاوت‌های معناداری با گروه سالم دارند؛ این امر می‌تواند منجر به ناپایداری عملکردی و کاهش کارایی راه رفتن در این افراد گردد.

شکل ۳ نتایج زاویه مفصلی مچ پا، زانو و ران برحسب زاویه، گروه بیمار و گروه کنترل را نشان می‌دهد. مطابق **شکل ۳**، زاویه‌های مفصلی در گروه بیمار در مقایسه با گروه کنترل در هر سه صفحه حرکتی (سهمی، عرضی و فرونتال) تفاوت‌های معناداری را نشان داد. در صفحه سهمی، دامنه حرکتی مفصل زانو در گروه بیمار، به‌ویژه در فاز نوسان چرخه راه رفتن، با میانگین زاویه فلکشن زانو برابر با $۲/۴ \pm ۴۵/۳$ درجه، به‌طور معناداری کاهش یافت. این در حالی است که میانگین این زاویه در گروه کنترل $۳/۸ \pm ۵۴/۱$ درجه بود ($p = ۰/۰۰۲$). این کاهش می‌تواند ناشی از اختلال در عملکرد عضلات فلکسور زانو یا محدودیت‌های عصبی-عضلانی باشد. در مفصل ران نیز کاهش معناداری در دامنه حرکات فلکشن و اکستنشن گروه بیمار نسبت به گروه کنترل مشاهده شد. میانگین دامنه حرکتی این مفصل در گروه بیمار $۲۸/۶$ درجه و در گروه کنترل $۳۵/۲$ درجه بود ($p = ۰/۰۰۵$). چنین کاهش عملکردی می‌تواند نشان‌دهنده ضعف کلی عضلات یا خستگی زودرس در گروه بیمار باشد. در صفحه عرضی، محدودیت حرکتی جانبی به‌ویژه در مفصل زانو و ران گروه بیمار قابل‌توجه بود. زاویه واروس زانو در گروه بیمار به‌طور میانگین $۴/۲ \pm ۰/۹$ درجه بود، درحالی‌که این مقدار در گروه کنترل برابر با $۱/۶ \pm ۱/۱$ درجه بود ($p = ۰/۰۱$). همچنین دامنه حرکتی اداکشن/اداکشن مفصل ران در گروه بیمار به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه کنترل بود ($۶/۵$ درجه در برابر $۹/۳$ درجه) ($p = ۰/۰۰۸$).

این امر ممکن است ناشی از ضعف در کنترل حرکات جانبی و تلاش برای حفظ پایداری پاسچرال در گروه بیمار باشد. در صفحه افقی، محدودیت‌های قابل‌توجهی در حرکات چرخشی گروه بیمار مشاهده شد. میانگین چرخش داخلی مفصل زانو گروه بیمار $۵/۱$ درجه بود، درحالی‌که در گروه کنترل $۷/۴$ درجه بود ($p = ۰/۰۰۹$) همچنین چرخش خارجی مفصل ران در گروه بیمار نسبت به گروه کنترل به‌طور معنی‌داری کمتر بود (میانگین $۴/۸$ - درجه در برابر $۷/۲$ - درجه) ($p = ۰/۰۰۶$). این محدودیت‌ها ممکن است ناشی از سفتی بافت‌های اطراف مفصل یا وجود الگوهای جبرانی برای کاهش مصرف انرژی در بیماران باشد.



شکل ۲. نتایج پارامترهای گشتاور مفاصل در صفحات حرکتی سهمی، عرضی و افقی در گروه کنترل و بیمار طی راه رفتن. منحنی‌ها شامل میانگین $\pm$ انحراف معیار برای هر گروه هستند (گروه کنترل با خط پیوسته و گروه بیمار با خط چین نشان داده شده است).



شکل ۳. زوایای مفاصل در صفحات حرکتی سهمی، عرضی و افقی در گروه کنترل و گروه بیمار (نمودار خطچین میانگین داده‌های گروه بیمار و نمودار خط ممتد میانگین داده‌های گروه کنترل را نشان می‌دهد. انحراف معیار به صورت سایه در اطراف خطوط را نشان داده شده است).

میانگین، حداکثر و حداقل زاویه‌های مفاصل مچ پا، زانو و ران در هر سه صفحه حرکتی تفاوت معناداری را به‌طور کلی نشان ندادند. با این حال، تحلیل نمودارهای میانگین و انحراف معیار زاویه‌ها، به‌ویژه در صفحه ساجیتال، تفاوت‌هایی نسبی میان دو گروه را نمایان ساخت. در مفصل ران، میانگین زاویه‌های گروه بیمار بیشتر از گروه کنترل بود. در صفحه فرونتال، تفاوت‌های زاویه‌ای قابل توجهی بین دو گروه مشاهده نشد. همچنین در صفحه هوریزونتال، زاویه‌های مفصلی پراکندگی بیشتری داشتند و انحراف معیار زاویه مفصل مچ پا بالاتر از سایر مفاصل بود. مقایسه زوایای اندام ساق پا نشان داد که تنها در صفحه ساجیتال میانگین ($p = 0/025$) و حداکثر زاویه ($p = 0/001$) در گروه بیمار به‌طور معناداری بیشتر از گروه کنترل بود. تفاوت در مقدار حداقل زاویه معنادار نبود.

در حوزه گشتاور مفصلی، در صفحه هوریزونتال، حداقل ($p = 0/003$) و میانگین ($p = 0/002$) گشتاور مفصل مچ پا در گروه بیمار بیشتر از گروه کنترل بود. در سایر محورهای حرکتی، تفاوت معناداری در گشتاورهای مچ پا مشاهده نشد. در صفحه ساجیتال، کاهش قابل توجهی در گشتاورهای خم‌کننده و بازکننده در مفاصل زانو و ران گروه بیمار مشاهده شد. در صفحه فرونتال، بیشتر مفاصل گروه بیمار مقادیر گشتاور کمتری نسبت به گروه کنترل داشتند. همچنین در صفحه هوریزونتال، گشتاور چرخشی در مفاصل زانو و ران گروه بیمار به‌طور معناداری کاهش یافته بود. یکی از یافته‌های مهم در تمام صفحات حرکتی، افزایش پراکندگی (انحراف معیار) داده‌ها در گروه بیمار بود.

نتایج حاصل از بررسی سفتی مفصل در سه صفحه حرکتی نشان داد که اختلاف مشاهده شده بین دو گروه در هیچ‌یک از سطوح حرکتی به سطح معناداری آماری نرسید. در صفحه ساجیتال، میانگین سفتی مفصل در گروه بیمار نسبت به گروه کنترل به‌طور نسبی کاهش یافته بود. در صفحه فرونتال نیز مقادیر میانگین تفاوت قابل توجهی نداشت و در برخی موارد گروه بیمار حتی سفتی بیشتری نشان داد. در صفحه افقی نیز، میزان سفتی مفصل بین دو گروه نزدیک به هم بود. انحراف معیار حداقل نیروی عکس‌العمل زمین در صفحه ساجیتال در گروه بیمار به‌طور معناداری بالاتر از گروه کنترل بود ($p = 0/011$). همچنین تفاوت معناداری در میانگین کلی نیرو بین دو گروه مشاهده شد ($p = 0/009$). در صفحه فرونتال، با وجود اختلاف‌هایی در مقادیر، تفاوت معنادار نبود. در صفحه افقی نیز اختلاف معناداری بین دو گروه دیده نشد. در مؤلفه نیروی جانبی اختلاف معناداری در میانگین ($p = 0/011$) و حداقل نیرو ($p = 0/009$) بین دو گروه ثبت شد.

بحث

هدف این مطالعه، بررسی و مقایسه الگوهای حرکتی و پارامترهای بیومکانیکی اندام تحتانی شامل زاویه‌های مفصلی، گشتاورها، سفتی مفاصل و نیروهای عکس‌العمل زمین در بیماران مبتلا به نارسایی مزمن قلبی در مقایسه با افراد سالم بود. با تحلیل این پارامترها در سه صفحه حرکتی اصلی طی چرخه نرمال شده راه رفتن، تلاش شد تا تأثیرات این بیماری بر عملکرد حرکتی و مکانیک راه رفتن شناسایی و تبیین گردد.

نتایج این مطالعه نشان داد که گروه بیمار دارای الگوهای متفاوتی از گشتاور و زاویه مفاصل اندام تحتانی در طول چرخه راه رفتن نسبت به گروه کنترل هستند. این تفاوت‌ها در سه صفحه حرکتی ساجیتال، فرونتال و افقی مشاهده شد و بیانگر تأثیرات گسترده نارسایی قلبی بر کنترل حرکتی و عملکرد اندام تحتانی است (۲۰، ۲۱). در صفحه ساجیتال، کاهش معنی‌داری در گشتاورهای فلکشن و اکستنشن مفاصل ران، زانو و مچ پا در گروه بیمار نسبت به گروه کنترل مشاهده شد که می‌تواند ناشی از ضعف عضلات اسکلتی،

خستگی زودرس یا محدودیت در توانایی مؤثر نیروهای عضلانی باشد (۲۰). به‌ویژه در فاز پیش‌رانش چرخه گام، کاهش گشتاور پلانترفلکشن می‌تواند منجر به کاهش توانایی تولید نیروی پیش‌ران و در نتیجه کاهش کارایی راه رفتن در گروه بیمار شود (۲۰-۲۳). علاوه بر این، دامنه حرکتی مفاصل در این گروه، به‌ویژه در فاز نوسان که نشان‌دهنده محدودیت عملکردی در مفاصل ران و زانو گروه بیمار است به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت (۲۱). در صفحه فرونتال، هرچند میزان گشتاورها و دامنه حرکات نسبت به صفحه ساجیتال کمتر بود، اما گروه بیمار کاهش بیشتری در گشتاورهای اداکشن و ایداکشن ران و نیز حرکات جانبی زانو (والگوس / واروس) نشان داد. این یافته‌ها می‌تواند حاکی از ضعف در عضلات تثبیت‌کننده جانبی، کاهش پایداری وضعیتی و تلاش سیستم حرکتی برای جبران ناتوانی در حفظ تعادل باشد (۲۱، ۲۴). در صفحه افقی، بیماران کاهش محسوسی در گشتاورهای چرخشی داخلی و خارجی مفاصل ران و زانو و همچنین محدودیت در دامنه حرکات چرخشی نشان دادند. این موضوع ممکن است ناشی از سفتی بافت‌های نرم، ضعف عضلات چرخاننده یا استفاده از الگوهای جبرانی با هدف کاهش مصرف انرژی باشد (۲۰، ۲۲). چنین الگوهایی بیانگر آن است که نارسایی قلبی نه تنها بر حرکات خطی، بلکه بر حرکات پیچیده‌تر و چندبعدی نیز اثرگذار است (۲۰، ۲۲).

میانگین، حداکثر و حداقل زاویه‌های مفاصل میچ پا، زانو و ران در هر سه صفحه حرکتی تفاوت معناداری مشاهده نشد. با این حال، تحلیل نمودارهای میانگین و انحراف معیار زاویه‌ها، به‌ویژه در صفحه ساجیتال، تفاوت‌هایی نسبی میان دو گروه را نمایان ساخت. این صفحه که بیشترین دامنه حرکات مفصلی (فلکشن و اکستنشن) را شامل می‌شود، اختلاف‌های بیشتری را، به‌ویژه در مفصل ران، نشان داد. در این مفصل، میانگین زاویه‌های گروه بیمار بیشتر از گروه کنترل بود که ممکن است به‌عنوان نوعی جبران حرکتی برای حفظ پیش‌رانش و تعادل در نظر گرفته شود (۲۳). در صفحه فرونتال، تفاوت‌های زاویه‌ای قابل‌توجهی بین دو گروه مشاهده نشد. دامنه حرکات در این صفحه به‌طور طبیعی محدودتر است و نقش مهم‌تری در کنترل پاسچر و تعادل ایفا می‌کند. ممکن است کنترل عصبی-عضلانی در این راستا به‌صورت محافظه‌کارانه‌تری عمل کرده و باعث کاهش اختلاف بین دو گروه شده باشد (۲۱). در صفحه هوریزونتال، که به حرکات چرخشی اختصاص دارد، زاویه‌های مفصلی پراکندگی بیشتری داشتند. در مفصل میچ پا، که نقش کلیدی در جهت‌گیری و تطابق با سطح زمین ایفا می‌کند، انحراف معیار بالاتر از سایر مفاصل بود که می‌تواند بیانگر افزایش تنوع حرکتی یا نبود الگوی حرکتی منظم در بیماران باشد (۲۲). مقایسه زوایای اندام ساق پا نشان داد که تنها در صفحه ساجیتال میانگین و حداکثر زاویه در گروه بیمار به‌طور معناداری بیشتر از گروه کنترل بود. تفاوت در مقدار حداقل زاویه معنادار نبود. این یافته می‌تواند به تلاش بیماران برای حفظ دامنه حرکتی یا ایجاد جبران در پاسخ به ضعف عضلات فلکسور و اکستنسور مرتبط باشد. از نظر گشتاور مفصلی، نتایج حاکی از آن بود که در صفحه هوریزونتال، حداقل و میانگین گشتاور مفصل میچ پا در گروه بیمار بیشتر از گروه کنترل بود. این موضوع می‌تواند به تلاش عضلات برای تثبیت بیشتر مفصل یا کنترل حرکات چرخشی ناخواسته مرتبط باشد. در سایر محورهای حرکتی، تفاوت معناداری در گشتاورهای میچ پا مشاهده نشد. بررسی کلی گشتاورها در صفحات حرکتی نشان‌دهنده وجود الگوهای عملکردی متفاوت بین دو گروه بود.

در صفحه ساجیتال، کاهش قابل‌توجهی در گشتاورهای خم‌کننده و بازکننده در مفاصل زانو و ران گروه بیمار مشاهده شد. این یافته با مطالعات پیشین در زمینه کاهش توان تولید نیرو در بیماران قلبی یا مبتلایان به اختلالات عصبی-عضلانی هم‌راستا است و می‌تواند ناشی از ضعف عضلات آگونیست، خستگی زود هنگام، یا کاهش کنترل عصبی باشد (۲۰، ۲۳، ۲۵). در صفحه فرونتال، اگرچه دامنه گشتاورها محدودتر بود، ولی بیشتر مفاصل گروه بیمار، مقادیر کمتری نسبت به گروه کنترل داشت که می‌تواند نشان‌دهنده محدودیت در کنترل و حفظ تعادل باشد (۲۱). در صفحه هوریزونتال نیز گشتاور چرخشی در مفاصل زانو و ران گروه بیمار کاهش معناداری نسبت به گروه کنترل داشت، که ممکن است بیانگر محدودیت در حرکات چرخشی یا اتخاذ الگوهای حرکتی محافظه‌کارانه‌تر

در بیماران باشد (۲۰،۲۱). یکی از یافته‌های مهم در تمام صفحات حرکتی، افزایش پراکندگی (انحراف معیار) داده‌ها در گروه بیمار بود که می‌تواند ناشی از ناهمگونی وضعیت بیماران، تفاوت‌های فردی در پاسخ‌های تطابقی به اختلال عملکرد قلبی یا عدم وجود الگوهای حرکتی پایدار در این گروه باشد (۲۱). نتایج حاصل از بررسی سفتی مفصل در سه صفحه حرکتی نشان داد که اختلاف مشاهده شده بین دو گروه کنترل و بیمار، در هیچ‌یک از سطوح حرکتی به سطح معناداری آماری نرسید. در صفحه ساجیتال، اگرچه میانگین سفتی مفصل در گروه بیمار نسبت به گروه کنترل به‌طور نسبی کاهش یافته بود، اما میزان این اختلاف محدود بوده و نوارهای خطای گسترده دلالت بر پراکندگی زیاد داده‌ها داشت (۲۶). چنین وضعیتی مانع از استنتاج قطعی در خصوص وجود الگویی مشخص از تغییرات سفتی مفصل در این صفحه حرکتی می‌شود. در صفحه فرونتال نیز یافته‌ها روند مشابهی را نشان دادند. مقادیر میانگین سفتی مفصل در دو گروه تفاوت چندانی نداشت و در برخی موارد، مقدار مشاهده‌شده در گروه بیمار حتی اندکی بیشتر از گروه کنترل بود. با این حال، انحراف معیار بالا و هم‌پوشانی داده‌ها مانع از رسیدن به نتیجه‌گیری آماری معنادار گردید (۲۶،۲۷). در صفحه افقی نیز، میزان سفتی مفصل در اندام‌های چپ و راست بین دو گروه نزدیک به هم بود و نوسان بالای مقادیر ثبت‌شده، شناسایی هرگونه اختلاف مشخص آماری را غیرممکن ساخت (۲۷). در مجموع، یافته‌ها بیانگر آن بود که سفتی مفصل اندام تحتانی در شرایط آزمون حاضر تحت تأثیر وضعیت بیماری قرار نگرفته و نمی‌توان آن را به‌عنوان شاخص تمایزدهنده‌ای میان گروه‌های کنترل و بیمار در نظر گرفت (۲۶). این موضوع احتمالاً به نقش پررنگ‌تر عوامل دیگر همچون کنترل عصبی-عضلانی، الگوهای حرکتی، و استفاده از راهبردهای جبرانی باز می‌گردد (۲۷،۲۸). بنابراین، به‌منظور تحلیل دقیق‌تر عملکرد بیماران، استفاده از رویکردهای چندبعدی و ارزیابی هم‌زمان فاکتورهای کینماتیکی و نورومکانیکی پیشنهاد می‌شود (۲۸،۲۹). در نهایت، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تأثیرات تغییرات بیومکانیکی در بیماران مبتلا به نارسایی مزمن قلبی می‌تواند هم مثبت و هم منفی باشد. درک این تغییرات و تأثیر آن‌ها بر عملکرد حرکتی بیماران نیازمند تحلیل دقیق‌تری از شرایط فردی بیماران و نوع مداخلات درمانی است (۲۹).

همان‌طور که در نتایج نشان داده شده است انحراف معیار حداقل نیروی عکس‌العمل زمین در صفحه ساجیتال گروه بیمار به‌طور معناداری بالاتر از گروه کنترل بود. همچنین تفاوت معناداری در میانگین کلی نیرو بین دو گروه مشاهده شد که می‌تواند به دلیل تفاوت در الگوهای حرکتی و نحوه بارگیری اندام تحتانی در بیماران باشد. با وجود برخی اختلاف مقادیر میانگین نیروی عکس‌العمل زمین در صفحه فرونتال، تفاوت معنادار نبود که این امر ممکن است به دلیل پراکندگی بالای داده‌ها باشد. در نتیجه، تفاوت عملکردی مشخصی در این صفحه بین دو گروه قابل تأیید نیست. در هیچ‌یک از مقادیر نیروی عکس‌العمل زمین در صفحه افقی نیز تفاوت معناداری بین دو گروه مشاهده نشد. هرچند در برخی موارد گروه بیمار انحراف بیشتری نشان داد، اما این اختلاف فاقد اعتبار آماری و بالینی بودند. علاوه بر این، تحلیل مؤلفه‌های نیرو نشان داد که گروه کنترل نیروی جانبی منفی‌تری نسبت به گروه بیمار و پیک حداقلی بالاتری دارد که می‌تواند نشانه‌ای از کنترل بهتر پایداری جانبی در گروه کنترل باشد (۳۰،۳۱). به‌طورکلی، تنها در صفحه ساجیتال تفاوت آماری معنادار بین دو گروه مشاهده شد که بر اهمیت تحلیل دقیق‌تر این صفحه در ارزیابی‌های بالینی تأکید دارد. همچنین، در بررسی مؤلفه‌های نیرو، تنها در مؤلفه X (جانبی) اختلاف معناداری در میانگین و حداقل نیرو بین دو گروه گزارش شد. گروه کنترل نیروی جانبی منفی‌تری با پیک حداقلی بالاتر نسبت به بیماران نشان داد که می‌تواند بیانگر کنترل متفاوت نیروهای جانبی حین راه رفتن باشد (۳۰،۳۱). طبق مطالعات پیشین، گشتاور می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای تشخیص آسیب‌های ناشی از شکستگی فشاری و نیروهای چرخشی وارد بر اندام‌های تحتانی، به‌ویژه در مرحله حمایت راه رفتن، مورد استفاده قرار گیرد (۳۲،۳۳). در همین راستا، نتایج نحوه راه رفتن بیماران مبتلا به گرفتگی سرخرگ محیطی نشان داد که مداخلات درمانی بر متغیرهای

بیومکانیکی راه رفتن تأثیرگذار بوده است. پس از انجام تمرینات درمانی تحت نظارت، کیفیت زندگی بیماران، فواصل پیاده‌روی و حداکثر قدرت فلکسور کف پا بهبود یافت، هرچند تغییر چشمگیری در شدت بیماری مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه بیانگر آن است که نارسایی مزمن قلبی تأثیر قابل توجهی بر الگوهای بیومکانیکی راه رفتن، شامل زوایای مفصلی، گشتاورها، سفتی مفاصل و نیروهای عکس‌العمل زمین دارد. در مقایسه با گروه کنترل، گروه بیمار الگوهای حرکتی متفاوتی را در سه صفحه ساجیتال، فرونتال و افقی نشان داد که بیانگر اختلال در عملکرد سیستم عصبی-عضلانی و وجود راهبردهای جبرانی برای حفظ تعادل و پیش‌رانش حین راه رفتن است. در صفحه ساجیتال، کاهش معنادار در گشتاورهای فلکشن و اکستنشن مفاصل اندام تحتانی، به‌ویژه در ناحیه مچ پا در فاز پیش‌رانش، منجر به کاهش توانایی تولید نیروی پیش‌ران و کارایی پایین‌تر راه رفتن در گروه بیمار شد. همچنین، کاهش دامنه حرکتی مفاصل ران و زانو در فاز نوسان نشان‌دهنده محدودیت عملکردی این مفاصل است. بااین‌حال، افزایش نسبی میانگین و حداکثر زاویه ساق پا در گروه بیمار ممکن است به‌عنوان جبرانی در پاسخ به ضعف عضلات فلکسور و اکستنسور در نظر گرفته شود. در صفحه فرونتال، کاهش نسبی در گشتاورهای اداکشن و ایداکشن مفاصل ران و حرکات والگوس / واروس زانو در گروه بیمار، نشانه‌ای از ضعف عضلات تثبیت‌کننده جانبی و کاهش توانایی در حفظ تعادل وضعیتی تلقی می‌شود. در این صفحه، تفاوت معناداری در زوایا و سفتی مفاصل بین دو گروه مشاهده نشد. در صفحه افقی، بیماران کاهش محسوسی در گشتاورهای چرخشی و دامنه حرکات مفاصل ران و زانو داشتند که می‌تواند به دلیل سفتی بافت‌های نرم، ضعف عضلات چرخاننده یا تمایل به حفظ انرژی از طریق الگوهای محافظه‌کارانه باشد. در این صفحه، میانگین و حداقل گشتاور مفصل مچ پا در گروه بیمار بیشتر از گروه کنترل بود که می‌تواند نشان‌دهنده تلاش برای تثبیت حرکات چرخشی باشد. تحلیل زوایای مفصلی نیز نشان داد که اگرچه در بیشتر موارد تفاوت آماری معناداری مشاهده نشد، اما در صفحه ساجیتال الگوی زاویه‌ای مفصل ران بیماران با میانگین بالاتر از گروه کنترل همراه بود که می‌تواند نوعی پاسخ تطابقی در جهت جبران کاهش پیش‌رانش باشد. در مقابل، زاویه‌های صفحه فرونتال تقریباً مشابه باقی ماندند و در صفحه افقی، مفصل مچ پا پراکندگی بالایی در مقادیر زاویه‌ای داشت که ممکن است ناشی از بی‌ثباتی حرکتی یا نبود الگوی منظم باشد. علی‌رغم مشاهده برخی تغییرات نسبی در مقادیر میانگین سفتی مفاصل، هیچ‌یک از تفاوت‌های بین دو گروه به سطح معناداری آماری نرسید. پراکندگی بالای داده‌ها و هم‌پوشانی گسترده مقادیر در سه صفحه حرکتی نشان داد که سفتی مفصل در شرایط حاضر نمی‌تواند شاخص تمایزدهنده بین دو گروه باشد و احتمالاً تحت تأثیر عوامل ثانویه قرار دارد. بررسی نیروهای عکس‌العمل زمین نیز نشان داد که تنها در صفحه ساجیتال اختلاف معناداری بین دو گروه وجود دارد. گروه بیمار دارای انحراف معیار بالاتر در حداقل نیرو و تفاوت معنادار در میانگین نیرو بود. در مؤلفه جانبی، گروه کنترل نیروی جانبی منفی‌تری با پیک حداقلی بالاتر نسبت به گروه بیمار تولید کرد که نشان‌دهنده کنترل بهتر پایداری جانبی است. در صفحات فرونتال و افقی تفاوت معناداری مشاهده نشد، هرچند در برخی موارد پراکندگی بیشتر در گروه بیمار مشاهده شد. در مجموع، یافته‌ها حاکی از آن است که نارسایی قلبی با ایجاد تغییراتی در گشتاورها، الگوهای حرکتی و تا حدی در نیروهای عکس‌العمل زمین، منجر به کاهش کارایی حرکتی و افزایش ناپایداری در حین راه رفتن می‌شود. با توجه به پراکندگی بالای داده‌ها و نبود الگوهای مشخص در برخی پارامترها، استفاده از رویکردهای چندبعدی شامل تحلیل‌های نورومکانیکی، ارزیابی عملکرد عضلانی و مطالعات طولی برای درک عمیق‌تر تأثیر این بیماری بر عملکرد حرکتی پیشنهاد می‌شود. نتایج همچنین بر لزوم طراحی برنامه‌های توان‌بخشی هدفمند برای بهبود کیفیت راه رفتن و عملکرد حرکتی بیماران مبتلا به نارسایی قلبی تأکید دارند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

پیروی از اصول اخلاق پژوهش تمامی اصول اخلاقی در این پژوهش رعایت شده است. همه شرکت کنندگان با رضایت کامل در مطالعه شرکت کردند و به آن‌ها اطمینان داده شد که تمام اطلاعات مربوط به آن‌ها محرمانه باقی خواهد ماند.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش همه بخش‌های پژوهش حاضر مشارکت داشته‌اند.

تعارض

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

Reference

1. Chahal J, Gómez-Aristizábal A, Shestopaloff K, Bhatt S, Chaboureau A, Fazio A, et al. Bone marrow mesenchymal stromal cell treatment in patients with osteoarthritis results in overall improvement in pain and symptoms and reduces synovial inflammation. *Stem cells translational medicine*. 2019;8(8):746-57. [DOI:10.1002/sctm.18-0183] [PMID]
2. Enayati M, Mardani-Hamoooleh M, Farahani Nia M, Haghani S. Relationship between spiritual intelligence and illness-related worries in hospitalized patients with heart failure in Mazandaran, Iran. *Iran Journal of Nursing*. 2022;35(138):434-47. [DOI:10.32598/ijn.35.138.764.29]
3. Maghsodi H, Ebrahimi M, Ghanbari A, Hejaziyan SH. Investigation of the Anti-inflammatory Properties of Iranian *Nigella sativa* L in Reducing the Expression of Pre-Inflammatory Cytokines of $TNF-\alpha$ and IL-18 in Human THP-1 Cells. *Journal of Ilam University of Medical Sciences*. 2017;25(3):147-59. [DOI:10.29252/sjimu.25.3.147]
4. Arnold EM, Ward SR, Lieber RL, Delp SL. A model of the lower limb for analysis of human movement. *Annals of biomedical engineering*. 2010;38:269-79. [DOI:10.1007/s10439-009-9852-5] [PMID]
5. Panizzolo FA, Maiorana AJ, Naylor LH, Lichtwark GA, Dembo L, Lloyd DG, et al. Is the soleus a sentinel muscle for impaired aerobic capacity in heart failure? *Medicine and science in sports and exercise*. 2015;47(3):498-508. [DOI:10.1249/MSS.0000000000000431] [PMID]
6. Rezaei M, Najafian Razavi M, Mazandarani E. The Kinematics Gait Pattern Analysis of Thin, Normal and Obese Children. *Journal of Sport Biomechanics*. 2018;4(2):49-57.

7. Forman DE, Fleg JL, Kitzman DW, Brawner CA, Swank AM, McKelvie RS, et al. 6-min walk test provides prognostic utility comparable to cardiopulmonary exercise testing in ambulatory outpatients with systolic heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*. 2012;60(25):2653-61. [DOI:10.1016/j.jacc.2012.08.1010] [PMID]
8. Najafian Razavi M. The Comparison of Gait Kinematics in Over-Weight and Normal-Weight People across Age Groups. *Journal of Sport Biomechanics*. 2022;8(3):214-30. [DOI:10.61186/JSportBiomech.8.3.214]
9. Hasandokht T, Salari A, Salari A, Fazeli A, Ashkan M. Evaluation of relation between cardiovascular risk factors and osteoarthritis: Results of a cross-sectional Study. *Feyz Medical Sciences Journal*. 2019;23(2):209-15.
10. McGibbon CA, Krebs DE, Puniello MS. Mechanical energy analysis identifies compensatory strategies in disabled elders' gait. *Journal of biomechanics*. 2001;34(4):481-90. [DOI:10.1016/S0021-9290(00)00220-7] [PMID]
11. Cahalin LP, Mathier MA, Semigran MJ, Dec GW, DiSalvo TG. The six-minute walk test predicts peak oxygen uptake and survival in patients with advanced heart failure. *Chest*. 1996;110(2):325-32. [DOI:10.1378/chest.110.2.325] [PMID]
12. Shokrallahnia-Roshan A, Sadeghi H, Shirani S, Nejatian M. Effects of Strength Training and Cardiac Rehabilitation Programs on the Biomechanical Parameters of Blood Flow Velocity and Blood Flow Rate and Its Relation with Arterial Stiffness Index in Brachial and Femoral Arteries with Coronary Artery Bypass Grafting Patients (CABG). *Archives of Rehabilitation*. 2013;14(2):38-45.
13. Gibbs N, Diamond R, Sekyere EO, Thomas WD. Management of knee osteoarthritis by combined stromal vascular fraction cell therapy, platelet-rich plasma, and musculoskeletal exercises: a case series. *Journal of pain research*. 2015:799-806. [DOI:10.2147/JPR.S92090] [PMID]
14. Masoli M, Fabian D, Holt S, Beasley R, Program GfA. The global burden of asthma: executive summary of the GINA Dissemination Committee report. *Allergy*. 2004;59(5):469-78. [DOI:10.1111/j.1398-9995.2004.00526.x] [PMID]
15. Razaghi A, Sadeghi H, Johari Moghadam A, azma k, Motamedi P. The Effect of Exercise-Based Cardiac Rehabilitation In two ways Aerobic and Aerobic-Resistance Exercises on the Biomechanical Function of Cardiac Patients (MI, PCI, and CABG). *Razi Journal of Medical Sciences*. 2020;26(12):138-48.
16. Boyd R, Fatone S, Rodda J, Olesch C, Starr R, Cullis E, et al. High-or low-technology measurements of energy expenditure in clinical gait analysis? *Developmental Medicine and Child Neurology*. 1999;41(10):676-82. [DOI:10.1111/j.1469-8749.1999.tb00522.x] [PMID]
17. Celis R, Pipinos II, Scott-Pandorf MM, Myers SA, Stergiou N, Johanning JM. Peripheral arterial disease affects kinematics during walking. *Journal of vascular surgery*. 2009;49(1):127-32. [DOI:10.1016/j.jvs.2008.08.013] [PMID]
18. The Criteria Committee of the New York Heart Association. Nomenclature and criteria for diagnosis of diseases of the heart and great vessels. 9th ed. Boston, MA: Little, Brown & Co; 1994. p. 253-256.
19. Karatsidis A, Jung M, Schepers HM, Bellusci G, de Zee M, Veltink PH, et al. Predicting kinetics using musculoskeletal modeling and inertial motion capture. *arXiv preprint 2018*. arXiv:180101668.
20. Panizzolo FA, Maiorana A, Naylor LH, Rubenson J. Gait analysis in chronic heart failure: The calf as a locus of impaired walking capacity. *Journal of Biomechanics*. 2014;47(15):3719-25. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2014.09.015] [PMID]

21. Ozcan EB, Saglam M, Vardar-Yagli N, et al. Impaired balance and gait characteristics in patients with chronic heart failure. *Heart Lung Circulation*. 2022;31(6):832-40. [DOI:10.1016/j.hlc.2021.10.015] [PMID]
22. Crespo-Ruiz B, Del Rosario-Garrido M, Cuesta-Vargas AI. Kinematic analysis of gait in patients with heart failure and controls: A cross-sectional study. *Gait Posture*. 2017;55:36-41.
23. Neptune RR, Zajac FE, Kautz SA. Muscle force redistributions during walking in persons with post-stroke hemiparesis. *Journal of Biomechanics*. 2004;37(6):403-12. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2003.11.001] [PMID]
24. Heiden TL, Sandroff BM, Motl RW. Biomechanical and energetic determinants of walking performance in multiple sclerosis. *Clinical Biomechanics*. 2016;33:6-11.
25. Eng JJ, Winter DA. Kinetic analysis of human walking: Data interpretation and recommendations for improvement. *Physical Therapy*. 1995;75(9):776-85.
26. Ogaya S. Joint stiffness in patients with heart failure: a pilot study using gait analysis. *Clinical Biomechanics*. 2020;74:20-6.
27. Ozcan EB, Saglam M, Vardar-Yagli N, et al. Impaired balance and gait characteristics in patients with chronic heart failure. *Heart, Lung and Circulation*. 2022;31(6):832-40. [DOI:10.1016/j.hlc.2021.10.015] [PMID]
28. Neptune RR, Kautz SA, Zajac FE. Contributions of the individual ankle plantar flexors to support, forward progression and swing initiation during walking. *Journal of Biomechanics*. 2001;34(11):1387-98. [DOI:10.1016/S0021-9290(01)00105-1] [PMID]
29. Crespo-Ruiz B, Cuesta-Vargas AI. Kinematic analysis of gait in patients with heart failure and controls: A cross-sectional study. *Gait & Posture*. 2017;55:36-41.
30. Barker K, et al. Ground reaction force characteristics in patients with chronic heart failure. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2013;49(3):351-7.
31. Dingwell JB, Cusumano JP. Nonlinear time series analysis of normal and pathological human walking. *Chaos*. 2000;10(4):848-63. [DOI:10.1063/1.1324008] [PMID]
32. Rahman H, Pipinos II, Johanning JM, Myers SA. Gait variability is affected more by peripheral artery disease than by vascular occlusion. *Public Library of Science*. 2021;16(3):e0241727. [DOI:10.1371/journal.pone.0241727] [PMID]
33. Piri A, Jafarnejadgero A, Ebrahimipour H, Nasri S. A review of the effects of exercise on body mechanics during translational movements in individuals with foot pronation: 2019-2022. *Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences*. 2023; 31(4):6544-60. [DOI:10.18502/ssu.v31i4.13024]