



تحلیل سینماتیکی اندام تحتانی در بیماران مبتلا به آستئوآرتریت تیبیوفمورال داخلی در صفحه فرونتال با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی

سالار تکی^۱، احمدرضا عرشی^{۲*}، فاطمه نواب مطلق^۲، حمیدرضا یزدی^۴

۱- کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی- بیومکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
 ۲- دانشیار، دانشکده مهندسی پزشکی- گروه بیومکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
 ۳- دانشجوی دکتری مهندسی پزشکی- بیومکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
 ۴- استادیار، دانشکده پزشکی- گروه جراحی زانو، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران
 * تهران، صندوق پستی ۱۵۸۷۵-۴۴۱۳، arshi@aut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
 دریافت: ۱۱ بهمن ۱۳۹۱
 پذیرش: ۲۱ اردیبهشت ۱۳۹۲
 ارائه در سایت: ۳۱ فروردین ۱۳۹۳
 کلید واژگان:
 آستئوآرتریت داخلی زانو
 آنالیز راه رفتن
 صفحه فرونتال
 تحلیل مؤلفه‌های اصلی
 سینماتیک اندام تحتانی

بیماران مبتلا به آستئوآرتریت داخلی زانو، با توجه به درجه بیماری‌شان، ممکن است دارای سینماتیک راه رفتن متفاوتی نسبت به افراد سالم باشند که اغلب این تغییرات در صفحه فرونتال نمایان می‌شود. هدف از انجام این مطالعه، مقایسه سینماتیک مفاصل اندام تحتانی در صفحه فرونتال، میان افراد غیرمبتلا و مبتلا به آستئوآرتریت داخلی زانو با درجات خفیف و متوسط حین راه رفتن بوده است. آنالیز راه رفتن در سه بعد و بر روی ۲۵ نفر از بانوان ۳۵-۵۳ سال صورت پذیرفت که ۱۰ نفر غیرمبتلا، ۱۰ نفر مبتلا به آستئوآرتریت خفیف و ۵ نفر مبتلا به آستئوآرتریت متوسط قسمت داخلی مفصل تیبیوفمورال بودند. نمودارهای سینماتیکی با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) خلاصه گردید. نمره‌های مؤلفه‌های اصلی با استفاده از آنالیزهای آماری، میان سه گروه (غیرمبتلا، خفیف و متوسط) مقایسه شدند. میج پای افراد گروه آستئوآرتریت خفیف در بیشتر قسمت‌های سیکل راه رفتن جهت‌گیری اینورژن و در افراد گروه آستئوآرتریت متوسط، جهت‌گیری اورژن دارد. دامنه حرکتی میج پای گروه آستئوآرتریت خفیف در صفحه فرونتال، کمتر از دو گروه دیگر است ($p > 0.05$). با پیشرفت بیماری، مقدار زاویه اداکشن زانو افزایش می‌یابد ($p > 0.05$) و دامنه حرکتی ران در صفحه فرونتال کمتر می‌شود که اختلاف این دامنه حرکتی میان گروه آستئوآرتریت خفیف و متوسط معنی‌دار است ($p = 0.05$).

Lower extremity kinematic analysis of medial tibiofemoral osteoarthritis patients in frontal plane using principal components analysis (PCA)

Salar Taki¹, Ahmadreza Arshi^{1*}, Fatemeh Navvab Motlaqh¹, Hamidreza Yazdi²

1- Department of Bio-Mechanical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

2- Department of Bio-Mechanical Engineering, Tehran University, Tehran, Iran

* P.O.B. 15875-4413 Tehran, Iran, arshi@aut.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
 Received 30 January 2013
 Accepted 11 May 2013
 Available Online 20 April 2014

Keywords:
 medial knee osteoarthritis
 gait analysis
 principal component analysis (PCA)
 frontal plane
 lower extremity kinematics

ABSTRACT

Patients with medial compartment knee osteoarthritis (OA) may exhibit different kinematics during walking according to the disease stage, also most of differences are in the frontal plane. The objective of this study was to compare lower extremity kinematics in frontal plane between medial knee OA patients and control subjects. Three dimensional gait analysis was performed on 25 women (35 to 53 years old): 10 control subjects, 10 mild medial knee OA and 5 moderate medial knee OA patients. Kinematics waveforms were reduced dimensionally by using Principal Component Analysis (PCA). PCA scores were compared between three groups (control, mild OA and moderate OA) with ANOVA and Post-Hoc TukeyHSD statistical analysis. Ankle of mild OA patients had a leaning towards inversion and moderate OA patients had a leaning towards eversion. Patients with mild OA, had smaller range of ankle motion than two other groups ($p > 0.05$). Knee adduction angle increased with progression of OA severity ($p > 0.05$). Range of hip motion in frontal plane decreased with progression of OA severity and this difference was significant between mild and moderate OA groups ($p = 0.05$).

۱- مقدمه

[۱]. با وجود مطالعات فراوانی که بر روی این بیماری انجام شده، هنوز درمان قطعی برای آن پیشنهاد نشده و عوامل مکانیکی مؤثر در آن به طور کامل شناسایی نشده‌اند [۲]. در دهه اخیر مطالعات بیومکانیکی زیادی بر روی نحوه

بیماری آستئوآرتریت زانو یکی از شایع‌ترین علل ایجاد ناتوانی عملکردی بوده و بیش از همه، قسمت داخلی مفصل تیبیوفمورال را تحت تأثیر قرار می‌دهد

Please cite this article using:

S. Taki, A.R. Arshi, F. Navvab Motlaqh, H.R. Yazdi, Lower extremity kinematic analysis of medial tibiofemoral osteoarthritis patients in frontal plane using principal components analysis (PCA), *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 2, pp. 159-166, 2014 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

تفسیر و قابل مقایسه کند [۱۶]. با استفاده از این روش کل نمودار سیکل راه رفتن مورد بررسی قرار گرفته می‌شود [۱۵].

هدف اصلی روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، کاهش ابعاد^۲ مجموعه داده‌هایی است که دارای تعداد زیادی متغیر به هم وابسته می‌باشند بصورتی که تا حد امکان تغییرات^۳ موجود در این مجموعه داده‌ها حفظ شود. این کاهش بعد با تبدیل مجموعه متغیر به یک مجموعه متغیر جدید امکان‌پذیر می‌شود. متغیرهای این مجموعه داده جدید (مؤلفه‌های اصلی)^۴، غیر وابسته به یکدیگر می‌باشند [۱۷].

بیماران مبتلا به آستئوآرتریت داخلی زانو، الگوی راه رفتن غیرطبیعی از خود نشان می‌دهند [۴] و با توجه به درجه بیماری‌شان، ممکن است دارای نمودارهای سینماتیکی متفاوتی نسبت به افراد سالم باشند [۱۸] که اغلب این تغییرات در صفحه فرونتال نمایان می‌شود [۴]. هدف از انجام این مطالعه مقایسه نمودارهای سینماتیکی اندام پایین تنه در صفحه فرونتال، میان بانوان غیرمبتلا و بانوان مبتلا به آستئوآرتریت داخلی زانو با درجات خفیف و متوسط بوده است. نمودارهای سینماتیکی اندام پایین تنه در صفحه فرونتال شامل زاویه اینورژن/اورژن^۵ مچ پا، زاویه اداکشن/ابداکشن^۶ زانو و اداکشن/ابداکشن ران می‌باشد.

۲- روش انجام کار

۲-۱- افراد

۱۰ نفر فرد غیر مبتلا و ۱۵ نفر بیمار مبتلا به آستئوآرتریت داخلی زانو (۱۰ نفر با درجه خفیف و ۵ نفر با درجه متوسط) که بوسیله تطبیق سن، قد، وزن، شاخص جرم بدنی^۷ و میزان فعالیت فیزیکی با افراد غیر مبتلا جمع‌آوری شده بودند، در این مطالعه شرکت کردند. هیچ یک از افراد شرکت کننده دارای سابقه عمل جراحی و یا جراحی و آسیب‌دیدگی در اندام تحتانی، جهت‌گیری والگوس زانو، اضمحلال غضروف در قسمت خارجی مفصل تیبيوفمورال و پتلفومورال بیشتر از قسمت داخلی، ناهنجاری‌های عصبی-عضلانی، آستئوآرتریت در سایر مفاصل پایین‌تنه و یا سابقه سکته مغزی و هرگونه آرتريت دیگر، نبوده‌اند. همه افراد از میان بانوان در محدوده سنی ۳۵ تا ۵۳ سال، بدون علائم یائسگی انتخاب شدند. افرادی که در گروه بیمار قرار گرفتند، در قسمت داخلی زانوی خود احساس درد کرده و به وسیله تصاویر رادیولوژیک و معاینات بالینی انجام شده توسط پزشک متخصص اورتوپد، وجود آستئوآرتریت در قسمت داخلی زانوی آنها مورد تأیید قرار می‌گرفت. بیماران گروه خفیف بر اساس امتیازبندی کلگرن-لورنس^۸ [۱۹] دارای درجه ۲ و گروه متوسط دارای درجه ۳ بودند.

کلیه افراد شرکت کننده در این طرح در جریان شرایط آزمایش و نحوه انجام آنها قرار گرفته و رضایت‌نامه مورد تأیید دانشگاه علوم پزشکی تهران را امضا کردند.

۲-۲- آنالیز راه رفتن

از یک سیستم آنالیز حرکت شامل ۶ دوربین اشعه مادون قرمز^۹ به منظور ثبت پارامترهای سینماتیکی حرکت، حین راه رفتن بر روی سطح صاف استفاده می‌شد. مارکرهای بازتابنده اشعه مادون قرمز بر روی برجستگی‌های استخوانی ران خاصه قدامی فوقانی و خلفی فوقانی، سارکوم، وسط ران، اپی‌کوندیل

راه رفتن افراد مبتلا به بیماری آستئوآرتریت زانو صورت پذیرفته است. نتایج حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد که، بارگذاری دینامیکی زانو، در ایجاد و پیش‌روی این بیماری دارای تأثیر بسزایی است [۳]. حین راه رفتن، نیروی اعمالی بر روی قسمت داخلی زانو، به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از نیروی اعمالی بر روی قسمت خارجی و همچنین مینیسک قسمت داخلی، نازک‌تر از مینیسک خارجی زانو می‌باشد [۴].

در بیشتر مطالعات انجام شده بر روی راه رفتن بیماران مبتلا به آستئوآرتریت زانو، پارامترهای سینماتیکی و سینتیکی مربوط به راه رفتن میان افراد سالم و یک گروه بیماران آستئوآرتریت مقایسه شده است [۵-۹]. با استفاده از این روش مطالعه، نمی‌توان فهمید که تغییرات بیومکانیکی مشاهده شده مربوط به پیش‌روی بیماری است یا در پاسخ به تغییرات پدید آمده در مفصل و بافت‌های نرم اطراف، به وجود آمده و یا یک مکانیزم جبرانی در فرآیند بیماری است [۳]. به منظور درک بهتر عوامل مکانیکی در ایجاد و پیش‌روی بیماری آستئوآرتریت زانو، باید نحوه تغییر این پارامترها در مراحل مختلف بیماری مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر مطالعات طولی، با انجام مطالعات مقطعی که در آنها از بیماران با درجات مختلف بیماری استفاده شده است، نیز می‌توان خصوصیات پارامترهای بیومکانیکی را که در درجات مختلف بیماری دارای نقش هستند، شناسایی کرد [۳]. علاوه بر این در اغلب مطالعات بیومکانیکی انجام شده بر روی آستئوآرتریت زانو، بررسی تنها بر روی بیماران با درجات شدید بیماری صورت پذیرفته است، در حالی که با مشخص کردن خصوصیات بیومکانیکی در درجات ابتدایی بیماری می‌توان درمان‌های غیرجراحی را ایجاد کرد که درد را کاهش داده و همچنین از پیش‌روی بیماری جلوگیری کند [۱۰]. در اغلب مطالعات انجام شده بر روی پارامترهای راه رفتن بیماران مبتلا به آستئوآرتریت زانو، از هر دو جنسیت زن و مرد استفاده شده است [۱۱،۱۲،۱۳]. بر اساس نتایج مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۷ انجام شده است، بیومکانیک زنان مبتلا به این بیماری نسبت به زنان غیر مبتلا دارای تفاوت معنی‌دار بوده ولی این تفاوت میان مردان مبتلا و غیرمبتلا معنی‌دار به دست نیامده است [۱۳]. بنابراین به نظر می‌رسد که به منظور حصول نتایج دقیق‌تر، بهتر است که پارامترهای بیومکانیکی در گروه زنان و یا مردان مبتلا به طور جداگانه به دست آمده و در صورت لزوم با هم مقایسه شوند. با وجود اینکه شواهدی وجود دارد که نشان دهنده تأثیر مهم هورمونهای جنسی بر روی شیوع بیماری آستئوآرتریت زانو است [۱۴]، بر اساس بررسی‌های انجام شده توسط نویسندگان، تاکنون در هیچ یک از مطالعات انجام شده بر روی پارامترهای بیومکانیکی افراد مبتلا به این بیماری، این فاکتور مهم در نظر گرفته نشده است.

یکی از ساده‌ترین و معمول‌ترین روش‌های آنالیز داده‌های سیکل راه رفتن، تعریف و استخراج پارامترهایی مانند محدوده داده‌ها و مقدار ماکزیمم-مینیممها است که به عنوان وقایع مهم الگوی سیکل راه رفتن می‌باشند. استخراج این پارامترها از نمودارهای افراد غیر نرمال، دقیق و قانونمند نیست و این پارامترها اطلاعات کل نمودار سیکل راه رفتن را در طول زمان در نظر نمی‌گیرند [۱۵]. تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ یک تکنیک شناسایی الگو است که می‌تواند داده‌های موج سیکل راه رفتن را کاهش داده و آنها را بین افراد، قابل

2- Dimension

3- Variation

4- Principal Components

5- Inversion/Eversion

6- Adduction/Abduction

7- Body Mass Index (BMI)

8- Kelgren-Lawrence

9- Vicon 460, Oxford Metrics, Oxford, UK

1- Principal Components Analysis (PCA)

بدست می‌آیند (رابطه ۲).

$$X \times U = Z$$

$$\begin{bmatrix} x_{1,1} & \dots & x_{1,101} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{25,1} & \dots & x_{25,101} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_{1,1} & u_{1,2} & u_{1,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{101,1} & u_{101,2} & u_{101,3} \\ z_{1,1} & z_{1,2} & z_{1,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ z_{25,1} & z_{25,2} & z_{25,3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{1,1} & u_{1,2} & u_{1,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{101,1} & u_{101,2} & u_{101,3} \\ z_{1,1} & z_{1,2} & z_{1,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ z_{25,1} & z_{25,2} & z_{25,3} \end{bmatrix} \quad (2)$$

در این رابطه، ماتریس سمت چپ ماتریس سیگنال داده افراد (۲۵ نفر)، ماتریس وسط ماتریس بردارهای ویژه و ماتریس سمت راست ماتریس نمره‌های بدست آمده برای افراد می‌باشد. لازم به ذکر است انتخاب تعداد بردارهای ویژه، بستگی به عواملی دارد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود و در رابطه (۲) بعنوان نمونه سه بردار ویژه نشان داده شده است.

در این روش، اطلاعات سیگنال اصلی هر فرد به مجموعه‌ای از نمره‌های مؤلفه اصلی تبدیل می‌شود. این نمرات نشان دهنده رتبه فرد در ویژگی‌هایی است که توسط بردار ویژه نظیرشان مشخص می‌شود. این تبدیل، زمانی جذاب است که این ویژگی‌ها قابل تفسیر باشند. تفسیر بردارهای ویژه مؤلفه اصلی به وسیله بررسی کردن شکل نمودار آنها و مقایسه کردن سیگنال سیکل راه رفتن افراد با نمره مؤلفه اصلی بالا و پایین، ممکن می‌شود [۱۵].

با استفاده از این روش می‌توان برای هر فرد نمودار متشکل از ۱۰۰ نقطه وابسته به هم را به تعداد کمی (۲ الی ۴) نقطه غیر وابسته به هم تبدیل کرد. در واقع روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی نمودار سیکل راه رفتن را تبدیل به تعداد کمی نمره‌های مؤلفه اصلی می‌کند که با این کار می‌توان تمام خصوصیات نمودار را تنها در تعداد کمی نمره کرد. هر کدام از این نمرات مؤلفه اصلی یک ویژگی خاصی را مورد بررسی قرار می‌دهند و بطور مثال افرادی که نمره مؤلفه اصلی اول بالاتری دارند با توجه به اینکه بردار ویژه اول چه ویژگی را مورد بررسی قرار داده است، در آن ویژگی سرآمد هستند.

تعداد بردار ویژه‌ای که برای ادامه آنالیز انتخاب می‌شود بستگی به دو عامل اساسی دارد: اول این که مجموع درصد مقدار ویژه آن تعداد بردار، بیشتر از ۹۰٪ باشد، دوم این که درصد مقدار ویژه بردار کمتر از ۱٪ نباشد [۲۲]. هر بردار ویژه‌ای که مقدار ویژه بیشتری داشته باشد از اهمیت بالاتری برخوردار است و پراکندگی بیشتری از نمودار اصلی را توصیف می‌کند.

۲-۵- آنالیز آماری

مقادیری که مورد آنالیز آماری قرار گرفتند، نمره‌های مؤلفه‌های اصلی اول، دوم و سوم زوایای ران، زانو و مچ پا در صفحه فرونتال، سرعت راه رفتن، طول گام، سن، جرم، قد و شاخص جرمی بدن بود. از یک آنالیز آماری^۲ برای مقایسه سه گروه باهم و از آنالیز آماری دیگر^۳ برای مقایسه پارامترهای مذکور میان هر دو گروه بصورت مجزا استفاده شد. سطح معنی‌دار بودن تفاوت‌ها (p) کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

۳- نتایج

جدول ۱ آمار توصیفی مشخصات دموگرافیک و همچنین سرعت راه رفتن و طول گام سه گروه غیرمبتلا، آستئوآرتریت خفیف و متوسط زانو را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج آنالیز آماری بر روی پارامترهای جدول ۱، تفاوت سرعت راه رفتن و طول گام میان سه گروه، معنی‌دار نبوده است. تفاوت سن گروه مبتلا به آستئوآرتریت متوسط با دو گروه دیگر معنی‌دار بوده (مقدار پی برابر ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۱) و همچنین تفاوت شاخص جرمی بدن میان دو گروه غیرمبتلا و متوسط معنی‌دار بوده است ($p=0/042$).

خارجی ران، وسط ساق، قوزک خارجی، انتهای دیستال استخوان متاتارسال دوم و قسمت خلفی پاشنه، مستقیماً بر روی پوست قرار می‌گرفت. داده‌های سینماتیکی سه بعدی این مارکرها با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰ هرتز به ثبت می‌رسید. دو صفحه نیرو^۱ که در مسیر راه رفتن افراد درون زمین قرار داده شده بودند، نیروها و گشتاورهای عکس‌العمل زمین را به صورت سه‌بعدی با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰ هرتز ثبت می‌کردند. از افراد خواسته می‌شد که با پای برهنه و با سرعت دلخواه بر روی مسیر تعبیه شده میان دو صفحه نیرو به گونه‌ای راه روند که فقط یک پای آنها بر روی هر یک از صفحات نیرو قرار گیرد. سیکل راه رفتن با برخورد پاشنه به صفحه نیروی اول آغاز شده و با برخورد همان پاشنه با صفحه نیروی دوم به پایان می‌رسید. در این مطالعه از داده‌های صفحه‌های نیروی اول و دوم به منظور محاسبه زمان ابتدا و انتهای سیکل استفاده شد. پای مورد آزمایش که مارکرها بر روی آن نصب شده و درون صفحات نیرو قرار می‌گرفت، در افراد سالم پای غالب و در افراد مبتلا، پای با علائم بالینی بیشتری از آستئوآرتریت زانو بود.

۲-۳- پردازش داده‌ها

به منظور محاسبه زوایای اندام تحتانی، در ابتدا با استفاده از مکان مارکرها در هر لحظه سیستم مختصات سه بعدی به هر عضو نسبت داده می‌شد [۲۰]. سپس با استفاده از این سیستم مختصات، ماتریس دوران هر عضو نسبت به سیستم مختصات آزمایشگاه به دست آمد. در نهایت ماتریس دوران عضو دیستال نسبت به پروگزیمال با توجه به روابط زیر محاسبه شد:

$$\begin{aligned} R_{thigh}^{pelvis} &= R_U^{pelvis} \times R_{thigh}^U \\ R_{shank}^{thigh} &= R_U^{thigh} \times R_{shank}^U \\ R_{foot}^{shank} &= R_U^{shank} \times R_{foot}^U \end{aligned} \quad (1)$$

در این رابطه، از بالا به پایین، ماتریس دوران عضو ران نسبت به لگن، ماتریس دوران عضو ساق نسبت به ران و ماتریس دوران عضو کف پا نسبت به ساق، تعریف شده است.

زوایای مفصلی با استفاده از دوران‌های متوالی سه صفحه XYZ محاسبه شدند [۲۱]. با معادل قرار دادن هر یک از این ماتریس‌ها با ماتریس پارامتری به دست آمده از دوران‌های متوالی سه صفحه زوایای مفصلی به دست آمد. زوایای صفحه فرونتال، دوران حول محور افقی X است.

از هر یک از افراد سه آزمون موفق آنالیز راه رفتن به ثبت رسید. تعریف آزمون موفق به این صورت بود که پای مورد آزمایش به طور کامل روی صفحات نیرو قرار گرفته و پای دیگر هیچ تماسی با این صفحات پیدا نمی‌کرد. همچنین در یک آزمون موفق کلیه مارکرها توسط دوربین‌ها قابل رؤیت بودند. میانگین داده‌های به دست آمده از این سه آزمون در آنالیز آماری مورد استفاده قرار گرفتند. زوایای به دست آمده نسبت به ۱۰۰٪ زمان سیکل راه رفتن نرمال شدند.

۲-۴- تحلیل مؤلفه‌های اصلی

مؤلفه‌های اصلی از بردارهای (محورهای) متعامدی تشکیل شده است که تعداد زیادی متغیرهای وابسته را به تعداد کمی نمره‌های مؤلفه اصلی جدید غیر وابسته تبدیل می‌کند. در این تحقیق سیگنال استاندارد شده سیکل راه رفتن در هر ۱٪ از ۰٪ تا ۱۰۰٪ نمونه‌گیری شده است. بردارهای ویژه مؤلفه اصلی، یک مجموعه بردار متعامد برای سیگنال داده می‌باشند. در این روش، هر بردار ویژه مؤلفه اصلی ویژگی مشخصی از سیگنال داده را نشان می‌دهد. نمره‌های مؤلفه اصلی، از ضرب بردار ویژه مؤلفه اصلی در سیگنال هر فرد

2- ANOVA

3- Post-Hoc TukeyHSD

1- Kistler, 9286BA, Switzerland

جدول ۱ میانگین (انحراف معیار) مشخصات دموگرافیک، سرعت و طول گام گروه‌ها

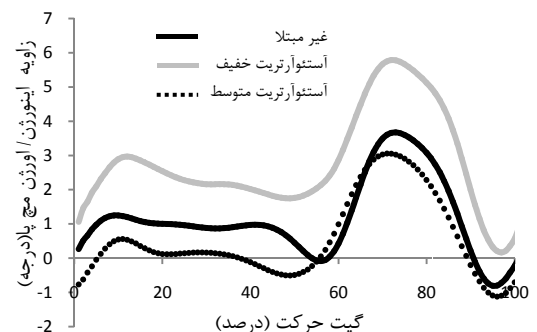
سن (سال)	گروه غیر مبتلا	گروه آستئوآرتریت خفیف	گروه آستئوآرتریت متوسط
جرم (کیلوگرم)	۴۰/۶۰ (۴/۶۲)	۴۳/۱۰ (۳/۱۴)	۵۰/۳۲ (۳/۰۸)
قد (متر)	۱/۵۴ (۰/۰۲)	۱/۵۹ (۰/۰۵)	۱/۵۸ (۰/۰۴)
شاخص جرمی بدن (کیلوگرم بر متر مربع)	۶۲/۱۳ (۳/۹۲)	۲۹/۱۲ (۳/۳۸)	۳۱/۳۴ (۳/۷۱)
طول گام (متر)	۱/۱۷ (۰/۱۳)	۱/۱۶ (۰/۰۸)	۱/۱۱ (۰/۰۳)
سرعت (متر بر ثانیه)	۰/۹۶ (۰/۰۲۵)	۱/۰۱ (۰/۰۱۹)	۰/۸۸ (۰/۰۳۱)

جدول ۲ درصد پراکندگی و تجمعی بردارهای ویژه انتخاب شده

مچ پا	زانو	ران	بردار
بردار	بردار	بردار	بردار
ویژه اول	ویژه دوم	ویژه اول	ویژه دوم
درصد پراکندگی	۷۴٪	۱۶٪	۸۱٪
درصد تجمعی	۹۴٪	۹۰٪	۸۶٪

جدول ۳ میانگین نمره‌های اول و دوم مؤلفه‌های اصلی

میانگین نمره‌های مؤلفه اصلی اول برای سه گروه		میانگین نمره‌های مؤلفه اصلی دوم برای سه گروه		میانگین نمره‌های مؤلفه	
گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳
زاویه اینورژن مچ پا	۲/۴	۴/۹	-۵/۴	-۱/۸	-۰/۵
زاویه اداکشن زانو	۲/۲	-۰/۹	-۲/۶	۰/۱	-۱/۵
زاویه اداکشن ران	-۱/۸	-۱/۷	۷/۲	۲/۳	-۱/۹

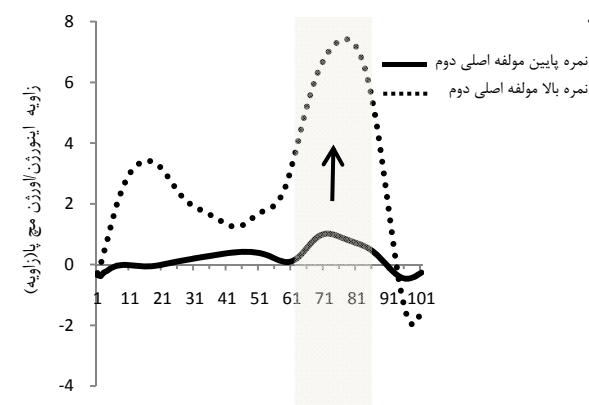
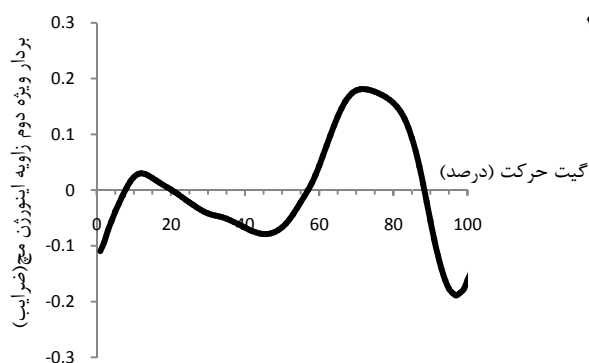
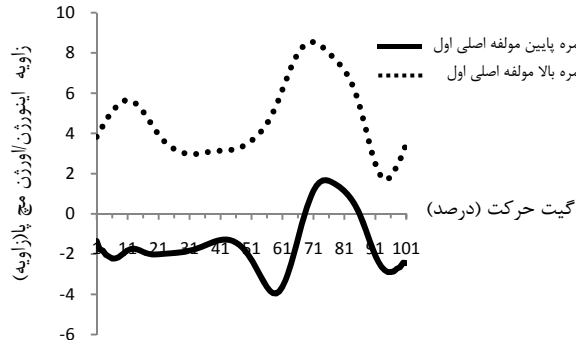
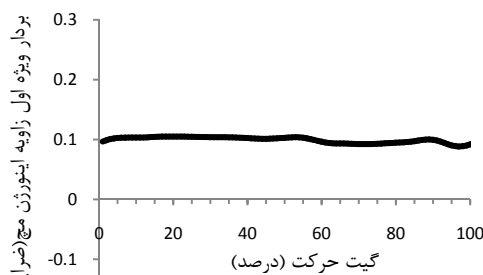


شکل ۱ زاویه اینورژن/اورژن مچ پا: مقادیر مثبت نشان دهنده اینورژن و منفی اورژن

برای انتخاب تعداد بردارهای ویژه، این شرط در نظر گرفته شده که مجموع درصد مقدار ویژه آن تعداد بردار، بیشتر از ۹۰٪ باشد. به همین خاطر برای هر کدام از زاویه‌های اینورژن/اورژن مچ پا، اداکشن/ابداکشن زانو و اداکشن/ابداکشن ران، ۲ بردار ابتدایی، در نظر گرفته شده‌اند. جدول ۲، درصد هریک از بردارها را برای فواصل ذکر شده بیان می‌کند.

در جدول ۳ میانگین نمره‌های اول و دوم مؤلفه‌های اصلی زاویه‌های اینورژن/اورژن مچ پا، اداکشن/ابداکشن زانو و اداکشن/ابداکشن ران برای سه گروه آورده شده است.

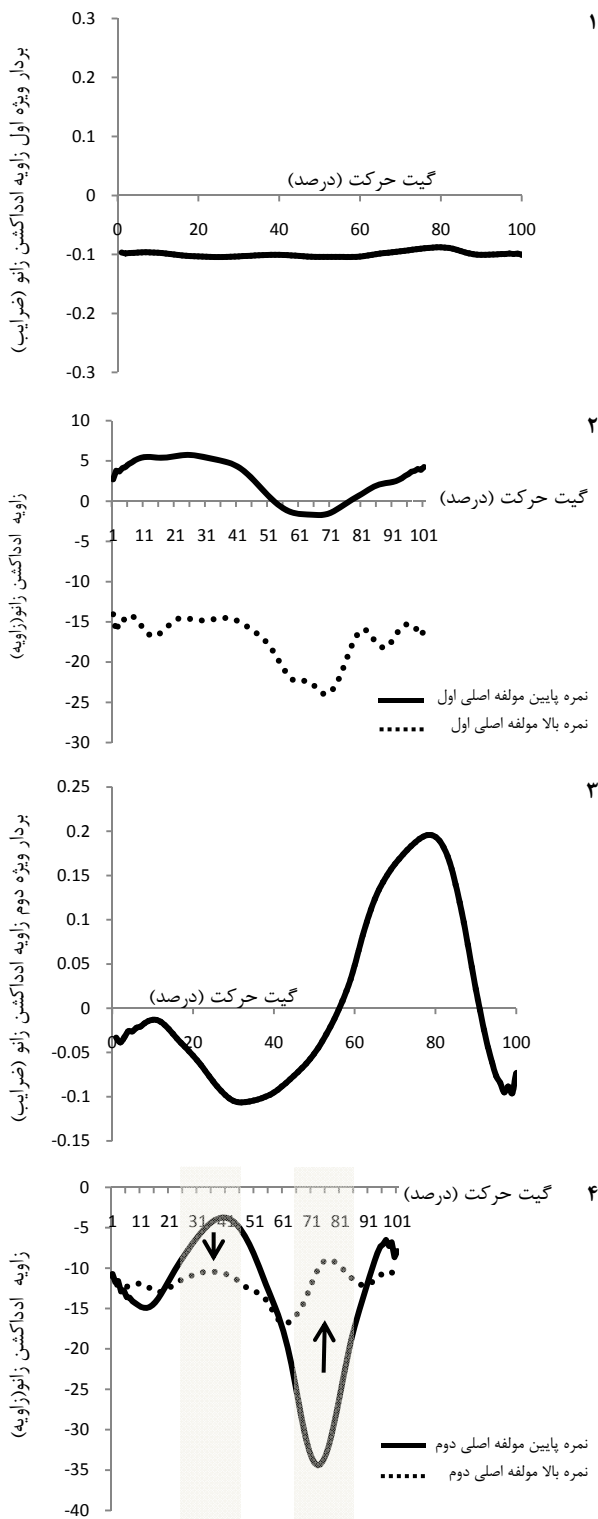
بر اساس نتایج آنالیز آماری بر روی نمره‌های مؤلفه اصلی زاویه اینورژن مچ پا، تفاوت معناداری در نمره‌های اول و دوم زاویه اینورژن/اورژن مچ پا میان سه گروه وجود ندارد ($p > 0.05$)، ولی این اختلافات در نمره‌های مؤلفه اصلی اول به معنادار بودن بسیار نزدیک است ($p = 0.06$). نمودار مربوط به زاویه اینورژن/اورژن مچ پا در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۲ بردارهای ویژه اول و دوم زاویه اینورژن مچ در قسمتهای ۱ و ۳. منحنی‌های زاویه اینورژن مچ پا مربوط به افراد با بالاترین و پایین‌ترین نمره مؤلفه اصلی نظیر بردار ویژه اول و دوم به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۴

در شکل ۲ قسمت ۲، منحنی‌های زاویه مچ پا مربوط به افراد با بالاترین و پایین‌ترین نمره مؤلفه اصلی نظیر بردار ویژه اول نشان داده شده است. این بردار با توجه به بزرگی کل نمودار زاویه اینورژن/اورژن مچ پا در فاز تکیه‌گاهی^۱ و سوئینگ^۲ به افراد نمره می‌دهد؛ قسمت ۴، منحنی‌های زاویه مچ

1- Stance
2- Swing



شکل ۴ بردارهای ویژه اول و دوم زاویه اداکشن زانو در قسمتهای ۱ و ۳. منحنی‌های زاویه اداکشن زانو مربوط به افراد با بالاترین و پایین‌ترین نمره مؤلفه اصلی نظیر بردار ویژه اول و دوم به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۴

بر اساس یافته‌های حاصل از این مطالعه تفاوت معناداری میان سن گروه مبتلا به آستئوآرتریت متوسط و سن دو گروه دیگر مشاهده شد ($p < 0.05$) اما تفاوت سرعت راه رفتن و همچنین طول گام میان هیچ دو گروهی معنی‌دار نبود. همچنین، نمره‌های اول و دوم Z زاویه اینورژن/اورژن مچ پا و زانو دارای تفاوت معنی‌داری میان هیچ دو گروهی نبودند. اما نمره‌های دوم مؤلفه اصلی

پا مربوط به افراد با بالاترین و پایین‌ترین نمره مؤلفه اصلی نظیر بردار ویژه دوم را نشان می‌دهد. این بردار با توجه به مقدار بزرگی زاویه در فاز سوئینگ میانی (۶۰-۸۵٪ سیکل راه رفتن) به افراد نمره می‌دهد.

بر اساس نتایج آنالیز آماری بر روی نمره‌های مؤلفه اصلی زاویه اداکشن زانو، تفاوت معناداری در نمره‌های اول و دوم مؤلفه‌های اصلی زاویه اداکشن/ابداکشن زانو، میان سه گروه وجود نداشت. نمودار مربوط به زاویه اداکشن/ابداکشن زانو در شکل ۳ آورده شده است.

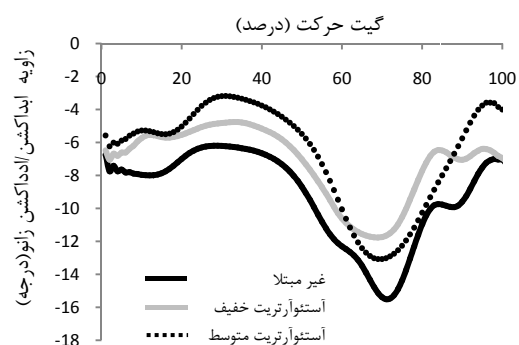
در شکل ۴ قسمت ۲، منحنی‌های زاویه زانو مربوط به افراد با بالاترین و پایین‌ترین نمره مؤلفه اصلی نظیر بردار ویژه اول نشان داده شده است. این بردار با توجه به بزرگی کل نمودار زاویه اداکشن/ابداکشن زانو در فاز تکیه‌گاهی و سوئینگ به افراد نمره می‌دهد؛ قسمت ۴، منحنی‌های زاویه زانو مربوط به افراد با بالاترین و پایین‌ترین نمره مؤلفه اصلی نظیر بردار ویژه دوم نشان می‌دهد. این بردار براساس اختلاف میان زاویه در میانه فاز تکیه‌گاهی (۲۵-۴۵٪ سیکل راه رفتن) که زاویه اداکشن به بیشترین مقدار خود می‌رسد و میانه فاز سوئینگ (۶۵-۸۵٪ سیکل راه رفتن) که زاویه اداکشن به بیشترین مقدار خود می‌رسد، نمره‌دهی می‌کند.

بر اساس نتایج آنالیز آماری بر روی نمره‌های مؤلفه اصلی زاویه اداکشن ران، تفاوت نمره‌های دوم مؤلفه اصلی زاویه اداکشن/ابداکشن ران میان سه گروه معنادار است ($p = 0.04$). بطور دقیق‌تر اختلاف میان نمره‌های دوم Z گروه‌های غیرمبتلا و آستئوآرتریت خفیف معنادار است ($p = 0.05$). همچنین اختلافات در نمره‌های اول مؤلفه اصلی نیز به معنادار بودن نزدیک است. نمودار مربوط به زاویه اداکشن/ابداکشن ران در شکل ۵ آورده شده است.

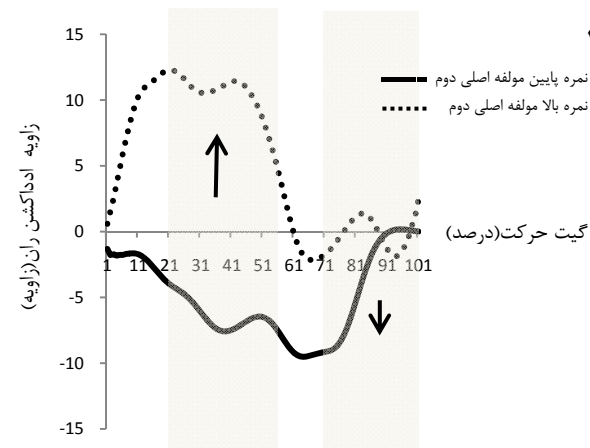
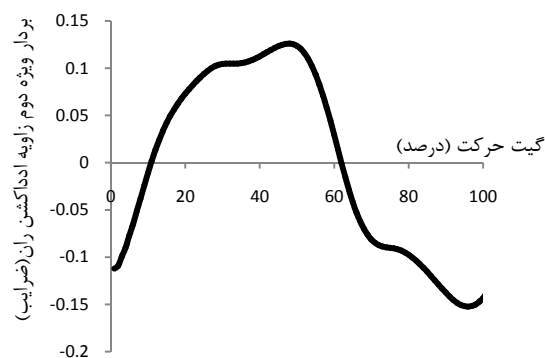
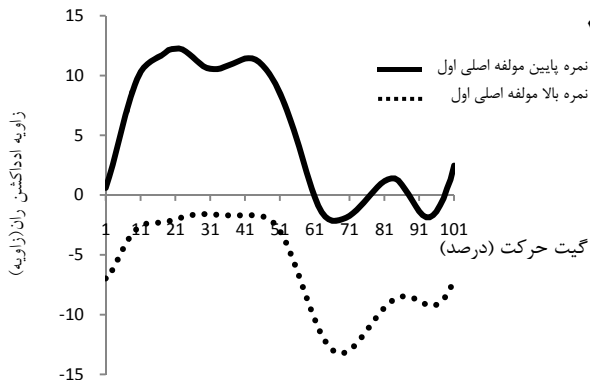
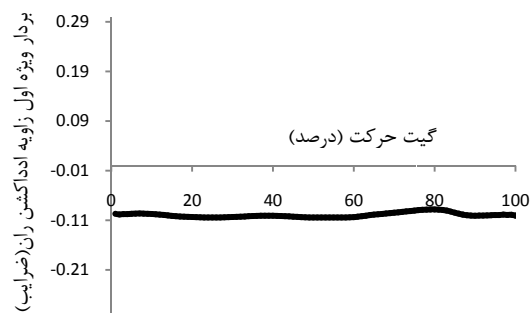
در شکل ۶ قسمت ۲، منحنی‌های زاویه ران مربوط به افراد با بالاترین و پایین‌ترین نمره مؤلفه اصلی نظیر بردار ویژه اول نشان داده شده است. این بردار با توجه به بزرگی کل نمودار زاویه اداکشن/ابداکشن ران در فاز تکیه‌گاهی و سوئینگ به افراد نمره می‌دهد؛ قسمت ۴، منحنی‌های زاویه ران مربوط به افراد با بالاترین و پایین‌ترین نمره مؤلفه اصلی نظیر بردار ویژه دوم نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود آن فردی که در ۲۰-۶۰٪ سیکل راه رفتن (میانه و انتهای فاز تکیه‌گاهی) بیشترین مقدار (بیشترین اداکشن) و در ۷۰-۱۰۰٪ سیکل راه رفتن (انتهای فاز سوئینگ) کمترین مقدار (بیشترین اداکشن) زاویه را داشته باشد، بیشترین نمره مؤلفه اصلی دوم را دارد.

۴- تحلیل نتایج

هدف از انجام این مطالعه، مقایسه زاویه‌های اینورژن/اورژن مچ پا، اداکشن/ابداکشن زانو و اداکشن/ابداکشن لگن میان بانوان غیرمبتلا و بانوان مبتلا به آستئوآرتریت داخلی زانو با درجات خفیف و متوسط بوده است.



شکل ۳ زاویه اداکشن/ابداکشن زانو: مقادیر مثبت نشان دهنده اداکشن و منفی اداکشن



شکل ۶ بردارهای ویژه اول و دوم زاویه اداکشن ران در قسمتهای ۱ و ۳. منحنی‌های زاویه اداکشن ران مربوط به افراد با بالاترین و پایین‌ترین نمره مؤلفه اصلی نظیر بردار ویژه اول و دوم به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۴

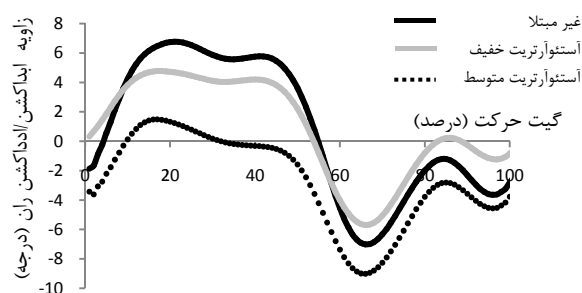
البته درستی چنین ادعایی باید از طریق انجام دادن مطالعات طولی بررسی شود. یعنی باید دید که افرادی که با اینورژن بیشتری راه می‌روند، در طول زمان، روند پیش‌روی بیماری و تخریب مفصل زانو در آنها نسبت به

زاویه اداکشن/ابداکشن لگن میان دو گروه غیر مبتلا و آستئوآرتریت خفیف دارای تفاوت معنی‌داری بودند ($p=0/05$).

در این مطالعه با وجود آن که تفاوت معنی‌داری میان سن افراد گروه متوسط و دو گروه دیگر وجود داشت، ولی تمامی افراد در محدوده سنی ۳۵ تا ۵۳ سال که رده سنی میان‌سالی است، قرار گرفته بودند. بیشتر مطالعات قبلی صورت پذیرفته بر روی این بیماری، دارای محدوده سنی وسیعی بودند به گونه‌ای که سنین سالمندی نیز در میان بیماران مشاهده می‌شود [۱۲، ۱۱، ۳]. شواهدی وجود دارد که سن عاملی خطرزا در پیش‌روی بیماری آستئوآرتریت زانو است [۲۳]، بنابراین برای حصول نتایج دقیق‌تر در زمینه نقش عوامل مکانیکی در ایجاد و پیش‌روی این بیماری، به نظر می‌رسد که باید سن افراد شرکت‌کننده به سنین زیر سالمندی محدود شود.

در مطالعات قبلی بر این موضوع تأکید شده است که سرعت راه رفتن بر روی پارامترهای سینماتیکی و سینتیکی حرکت تأثیر می‌گذارد [۲۴]. در این مطالعه هیچ‌گونه تفاوت معناداری میان سرعت گروه‌های مختلف مشاهده نشد. بنابراین تفاوت‌های احتمالی در پارامترهای سینتیکی حرکت را می‌توان به تغییرات ایجاد شده بر اثر بیماری و یا عوامل دیگر نسبت داد.

با توجه به مقایسه نمودارهای زاویه اینورژن/اورژن مچ پا بین سه گروه^۱، می‌توان نتیجه گرفت که افراد گروه ۲ در بیشتر قسمت‌های سیکل راه رفتن مچ پایشان به سمت اینورژن می‌رود و یا به عبارت دیگر لبه خارجی پا بر روی زمین قرار داده می‌شود (این موضوع با توجه به بیشتر بودن مقدار مثبت میانگین نمره‌های اول مؤلفه اصلی نسبت به میانگین دو گروه دیگر بوده است). در افراد گروه ۳ مقدار میانگین نمره‌های اول مؤلفه اصلی نسبت به دو گروه دیگر منفی‌تر است که نشان‌دهنده این است که مچ پا در بیشتر قسمت‌های سیکل دارای جهت‌گیری اورژن هستند، یعنی پا را با لبه داخلی روی زمین می‌گذارند که این موضوع باعث افزایش بار بر روی قسمت داخلی زانو و در نتیجه پیش‌روی بیماری در افراد این گروه می‌تواند بشود. مطلب قابل توجه این است که بیماران گروه ۲ که از نظر سنی با دو گروه دیگر مشابهت دارند، به نظر می‌رسد که به دلیل داشتن درد خفیف در زانوی خود، الگوی راه رفتن را به نحوی تغییر داده‌اند که از پیش‌روی بیماری جلوگیری کنند. آنها با افزایش زاویه اینورژن مچ پای خود حتی نسبت به گروه نرمال، باعث می‌شوند که بار کمتری بر قسمت داخلی زانو اعمال شده و در نتیجه روند تخریب قسمت داخلی مفصل تیبیوفمورال با سرعت کمتری اتفاق بیفتد.



شکل ۵ زاویه اداکشن/ابداکشن ران: مقادیر مثبت نشان دهنده اداکشن و منفی اداکشن

۱- افراد غیرمبتلا = گروه ۱

افراد مبتلا به آستئوآرتریت خفیف = گروه ۲

افراد مبتلا به آستئوآرتریت متوسط = گروه ۳

افرادی که با اورژن بیشتری راه می‌روند به چه ترتیب است.

افزایش میانگین نمره‌های دوم مؤلفه اصلی در گروه ۲ نسبت به دو گروه دیگر نشان دهنده کاهش دامنه حرکتی مچ پا در صفحه فرونتال در بیماران این گروه نسبت به دو گروه دیگر است. دامنه حرکتی مچ پا در حالت اینورژن کاهش پیدا می‌کند، بنابراین بیماران گروه ۲ به علت آنکه نسبت به دو گروه دیگر دارای اینورژن بیشتری بودند، دامنه حرکتی مچ پایشان نیز در صفحه فرونتال کاهش یافته است.

با توجه به مقایسه نمودارهای زاویه اداکشن/ابداکشن زانو بین ۳ گروه، هر چه مقدار نمره اول مؤلفه اصلی به دست آمده برای هر گروه منفی‌تر باشد نشان دهنده اداکشن بیشتر آن است. با پیشرفت بیماری، با وجود معنادار نبودن تفاوت‌ها، مقدار زاویه اداکشن در حال راه رفتن افزایش می‌یابد. همچنین در مقالات اشاره شده است که در لحظه ابتدایی سیکل راه رفتن، زاویه اداکشن زانو بیماران مبتلا به آستئوآرتریت زانو با درجات متوسط و شدید، بطور معنی‌داری بیشتر از افراد غیر مبتلا می‌باشد ($p < 0.05$) و در میانه فاز تکیه‌گاهی سیکل راه رفتن (0.30 سیکل راه رفتن)، زاویه اداکشن زانو در بیماران مبتلا به آستئوآرتریت زانو با درجه شدید، بطور معنی‌داری بیشتر از افراد غیر مبتلا است ($p < 0.05$) [۱۸]. این نتایج به نتایج تحقیق حال حاضر بسیار نزدیک است. در مقالات دیگری گفته شده است که با افزایش بیماری، گشتاور اداکشن زانو در برخی از قسمت‌های سیکل راه رفتن افزایش پیدا میکند که این افزایش گشتاور خود باعث پیشرفت بیماری می‌شود [۳]. با وجود آن که در مطالعات معمولاً از زاویه زانو در صفحه فرونتال به دلیل خطای زیادی که دارد استفاده نمی‌شود [۲۵] ولی در این مطالعه با وجود معنادار نبودن، میان درجه بیماری و این زاویه ارتباطی پیدا شد. نمره‌های دوم مؤلفه اصلی زاویه اداکشن/ابداکشن زانو در گروه ۳ کمترین مقدار را دارد که نشان‌دهنده افزایش دامنه حرکتی مفصل زانو در صفحه فرونتال در این گروه نسبت به دو گروه دیگر است که با نتایج مطالعات قبلی مبنی بر این که، محدوده حرکت زاویه اداکشن زانو بیماران مبتلا به آستئوآرتریت زانو با درجه شدید، بطور معنی‌داری بیشتر از افراد غیر مبتلا و مبتلا با درجه خفیف می‌باشد ($p < 0.05$) [۱۸]، مطابقت می‌کند. این افزایش دامنه حرکتی می‌تواند به علت ناهماهنگی عضلانی^۱ باشد که پایداری دینامیکی را حین حرکت کاهش می‌دهد. در این حالت هماهنگی میان فعالیت عضلات به هم می‌خورد. در گروه ۲ مثبت بودن نمره‌های دوم مؤلفه اصلی نسبت به نرمال، می‌تواند نشان دهنده ثبات بیشتر زانو باشد که به عنوان مکانیزم جبرانی اتخاذ شده توسط این گروه باعث کاهش روند پیش‌روی بیماری می‌شود. البته، از دیدگاهی دیگر این کمتر بودن دامنه حرکتی می‌تواند به علت هم انقباضی عضلات اطراف زانو باشد که به عنوان عاملی برای پیش‌روی بیماری آستئوآرتریت زانو در منابع به آن اشاره شده است [۲۶].

با توجه به مقایسه نمودارهای زاویه اداکشن/ابداکشن لگن بین سه گروه، میانگین نمره‌های اول مؤلفه اصلی در دو گروه ۱ و ۲ منفی بوده و مقادیر نزدیک به یکدیگر دارد ($-1/7$)، اما در گروه ۳ عدد مثبت بزرگی (۷) است (جدول ۳). این موضوع نشان می‌دهد که زاویه فرونتال ران گروه ۳ نسبت به دو گروه دیگر، به طور کلی با مقدار زیادی به سمت اداکشن رفته است، که می‌تواند نشان‌دهنده مکانیزم جبرانی اتخاذ شده توسط بیماران گروه متوسط برای کاهش بار روی زانو باشد. در بیماری آستئوآرتریت قسمت

داخلی زانو، عضله وستوس مدیالیس^۲ ضعیف شده و عضله وستوس لترالیس^۳ بیشتر فعال می‌شود و همین عامل باعث می‌شود که کشکک به سمت خارج منحرف شود. این عامل خود منجر به ضعیف‌تر شدن عضله وستوس مدیالیس می‌شود و در نتیجه میزان اداکشن ران کاهش پیدا می‌کند. بنابراین یکی از علل کمتر بودن مقدار اداکشن در بیماران در گروه ۳ نسبت به دو گروه دیگر می‌تواند ضعف این عضله باشد. با توجه به میانگین نمره‌های دوم مؤلفه اصلی گروه‌ها به ترتیب گروه ۱، گروه ۲ و گروه ۳ بیشترین تا کمترین مقادیر را داشتند که این حاکی از آن است که گروه ۱ بیشترین اداکشن در $20-60\%$ سیکل راه رفتن و بیشترین اداکشن در $70-100\%$ سیکل راه رفتن و گروه ۳ کمترین اداکشن در $20-60\%$ سیکل راه رفتن و کمترین اداکشن در $70-100\%$ سیکل راه رفتن را دارد. به عبارت دیگر با پیشرفت بیماری دامنه حرکتی ران در صفحه فرونتال کمتر می‌شود. تفاوت میان نمرات دوم مؤلفه اصلی گروه ۱ و ۲ معنادار است ($p = 0.05$).

۵- نتیجه‌گیری

مچ پای افراد گروه مبتلا به آستئوآرتریت خفیف در بیشتر قسمت‌های سیکل راه رفتن به سمت اینورژن می‌رود (که در آن لبه خارجی پا بر روی زمین قرار داده می‌شود). در افراد گروه مبتلا به آستئوآرتریت متوسط، مچ پا در بیشتر قسمت‌های سیکل دارای جهت‌گیری اورژن می‌باشد، یعنی پا را با لبه داخلی روی زمین می‌گذارند که این موضوع باعث افزایش بار بر روی قسمت داخلی زانو و در نتیجه پیش‌روی بیماری در افراد این گروه می‌تواند بشود. بیماران گروه مبتلا به آستئوآرتریت خفیف به علت آن که نسبت به دو گروه دیگر دارای اینورژن بیشتری بودند، دامنه حرکتی مچ پایشان نیز در صفحه فرونتال کاهش یافته است ($p > 0.05$).

با پیشرفت بیماری، با وجود معنادار نبودن تفاوت‌ها ($p > 0.05$)، مقدار زاویه اداکشن در حال راه رفتن افزایش می‌یابد. دامنه حرکتی مفصل زانو در صفحه فرونتال در گروه مبتلا به آستئوآرتریت خفیف نسبت به دو گروه دیگر بیشتر است.

زاویه فرونتال ران گروه مبتلا به آستئوآرتریت متوسط نسبت به دو گروه دیگر، به طور کلی با مقدار زیادی به سمت اداکشن رفته است. با پیشرفت بیماری دامنه حرکتی ران در صفحه فرونتال کمتر می‌شود که اختلاف این دامنه حرکتی میان گروه مبتلا به آستئوآرتریت خفیف و متوسط معنی‌دار است ($p = 0.05$).

۶- مشکلات و محدودیت‌ها

تعداد افراد مورد بررسی در این مطالعه کم بود و همین موضوع سبب شد که در بیشتر پارامترهای مربوط به راه رفتن اختلاف معناداری مشاهده نشود. به منظور پیش‌بینی بهتر تغییرات سینماتیکی و سینتیکی ایجاد شده در مراحل مختلف بیماری و شناخت دقیق‌تر مکانیزم‌های جبرانی اتخاذ شده توسط بیمار در مراحل مختلف، انجام مطالعات طولی توصیه می‌شود.

۷- مراجع

- [1] D. Felson, R. Lawrence, P. Dieppe, R. Hirsch, C. Helmick, J. Jordan, R. Kington, N. Lane, M. Nevitt, Y. Zhang, Osteoarthritis: new insights. Part 1: the disease and its risk factors, *Annals of Internal Medicine*, Vol. 133, No. 8, pp. 635, 2000.

- [13] K. McKean, S. Landry, C. Hubley-Kozey, M. Dunbar, W. Stanish, K. Deluzio, Gender differences exist in osteoarthritic gait, *Clinical Biomechanics*, Vol. 22, No. 4, pp. 400-409, 2007.
- [14] N. Arden, M. Nevitt, Osteoarthritis: epidemiology, *Osteoarthritis Handbook*, pp. 1, 2005.
- [15] K. J. Deluzio, J. L. Astephen, Biomechanical features of gait waveform data associated with knee osteoarthritis An application of principal component analysis, *Gait & Posture*, Vol. 25, pp. 86-93, 2007.
- [16] J. Conrad, The Biomechanical Effects Of An Externally Applied Orthosis On Medial Compartment Knee Osteoarthritis, 2011.
- [17] I. T. Jolliffe, *Principal Component Analysis*, Second Edition ed.: Springer, 2002.
- [18] e. a. Nagano Y., Association between in vivo knee kinematics during gait and the severity of knee osteoarthritis, *The Knee*, Vol. 26, pp. 628 – 632, 2012.
- [19] J. Kellgren, J. Lawrence, Radiological assessment of osteo-arthritis, *Annals of the Rheumatic Diseases*, Vol. 16, No. 4, pp. 494, 1957.
- [20] M. P. Kadaba, H. K. Ramakrishnan, M. E. Wootten, Measurement of Lower Extremity Kinematics During Level Walking, *Journal of Orthopaedic Research*, Vol. 8, pp. 383-392, 1990.
- [21] E. Grood, W. Suntay, A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: application to the knee, *Journal of Biomechanical Engineering*, Vol. 105, pp. 136, 1983.
- [22] e. a. Hatfield G.L., The effect of total knee arthroplasty on knee joint kinematics and kinetics during gait, *The journal of Arthroplasty*, Vol. 26, No. 2, 2011.
- [23] A. ANDERSON, R. LOESER, Why is osteoarthritis an age-related disease?, *Baillière's best practice & research. Clinical rheumatology*, Vol. 24, No. 1, pp. 15-26.
- [24] J. A. Zeni Jr, J. S. Higginson, Differences in gait parameters between healthy subjects and persons with moderate and severe knee osteoarthritis: A result of altered walking speed?, *Clinical Biomechanics*, Vol. 24, No. 4, pp. 372-378, 2009.
- [25] D. Mandeville, L. R. Osternig, B. A. Lantz, C. G. Mohler, L. S. Chou, The effect of total knee replacement on the knee varus angle and moment during walking and stair ascent, *Clinical Biomechanics*, Vol. 23, pp. 1053 – 1058, 2008.
- [26] L. SchmitT, K. Rudolph, Influences on knee movement strategies during walking in persons with medial knee osteoarthritis, *Arthritis Care & Research*, Vol. 57, No. 6, pp. 1018-1026, 2007.
- [2] K. D. Brandt, The importance of nonpharmacologic approaches in management of osteoarthritis1, *The American journal of medicine*, Vol. 105, No. 1, pp. 39S-44S, 1998.
- [3] J. Astephen, K. Deluzio, G. Caldwell, M. Dunbar, Biomechanical changes at the hip, knee, and ankle joints during gait are associated with knee osteoarthritis severity, *Journal of orthopaedic research*, Vol. 26, No. 3, pp. 332, 2008.
- [4] M. D. Lewek, K. S. Rudolph, L. Snyder-Mackler, Control of frontal plane knee laxity during gait in patients with medial compartment knee osteoarthritis, *OsteoArthritis and Cartilage*, Vol. 12, pp. 745-751, 2004.
- [5] K. Kaufman, C. Hughes, B. Morrey, M. Morrey, K. An, Gait characteristics of patients with knee osteoarthritis, *Journal of biomechanics*, Vol. 34, No. 7, pp. 907-915, 2001.
- [6] K. Al-Zahrani, A. Bakheit, A study of the gait characteristics of patients with chronic osteoarthritis of the knee, *Disability & Rehabilitation*, Vol. 24, No. 5, pp. 275-280, 2002.
- [7] M. B. Hilding, H. Lanshammar, L. Ryd, A relationship between dynamic and static assessments of knee joint load: gait analysis and radiography before and after knee replacement in 45 patients, *Acta Orthopaedica*, Vol. 66, No. 4, pp. 317-320, 1995.
- [8] A. Baliunas, D. Hurwitz, A. Ryals, A. Karrar, J. Case, J. Block, T. Andriacchi, Increased knee joint loads during walking are present in subjects with knee osteoarthritis, *Osteoarthritis and Cartilage*, Vol. 10, No. 7, pp. 573-579, 2002.
- [9] D. Hurwitz, A. Ryals, J. Case, J. Block, T. Andriacchi, The knee adduction moment during gait in subjects with knee osteoarthritis is more closely correlated with static alignment than radiographic disease severity, toe out angle and pain, *Journal of orthopaedic research*, Vol. 20, No. 1, pp. 101-107, 2002.
- [10] S. C. Landry, K. A. McKean, C. L. Hubley-Kozey, W. D. Stanish, K. J. Deluzio, Knee biomechanics of moderate OA patients measured during gait at a self-selected and fast walking speed, *Journal of biomechanics*, Vol. 40, No. 8, pp. 1754-1761, 2007.
- [11] A. Mündermann, C. Dyrby, T. Andriacchi, Secondary gait changes in patients with medial compartment knee osteoarthritis: increased load at the ankle, knee, and hip during walking, *Arthritis & Rheumatism*, Vol. 52, No. 9, pp. 2835-2844, 2005.
- [12] K. Briem, L. Snyder-Mackler, Proximal gait adaptations in medial knee OA, *J Orthop Res*, Vol. 27, No. 1, pp. 78-83, 2009.