Archive of SID

Published Online: 2016.December.26 **Review Article**

Gait Symmetry and Its Evaluation Methods: A Review

Alireza Nasirzadeh [1*], Heydar Sadeghi [2], Hamid Reza Mokhtarinia [3], Abbas Rahimi [4]

1. PhD Candidate in Sports Biomechanics, Faculty of Sports Sciences and Physical Education, Kharazmi University, Tehran, Iran
2. Professor of Sports Biomechanics, Faculty of Sports Sciences and Physical Education, Kharazmi University, Tehran, Iran
3. Assistant Professor of Physiotherapy, Department of Ergonomics, University of Social Welfare and Rehabilitation Science, Tehran, Iran
4. Professor of Physiotherapy, School of Rehabilitation Sciences, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: 2016. April.03 Revised: 2016. May.18 Accepted: 2016. December.03

Abstract

Background and aim: Due to the fact that walking is the main activity of humans to relocate, understanding its complexity and its different angles has long been the focus of various studies. One of the main issues in this regard is gait symmetry. Accordingly, the aim of the present study was investigating the concept of gait symmetry and the methods for evaluating it.

Materials and Methods: A search among the related articles published from 2000 to 2015 in valid scientific databases, according to the research criteria, resulted in 71 scientific articles selected for the present review study.

Results: Review of the previous studies showed that generally, from kinematical and kinetical point of view, walking in participants with and without abnormalities was asymmetrical and this condition is represented in all measured kinematic and kinetic parameters except in a few studies. Also, the methods of evaluating gait symmetry could generally be categorized into symmetry indices and statistical methods. In this situation, symmetry indices, despite their ease of application, could not represent the spatial-time complexity of walking cycle because of single-variable evaluations. In addition, the main limitation of statistical methods is that they do not present a qualitative value. Thus, for neither of these two methods is normal data available.

Conclusion: With respect to the fact that during walking lower limbs have an asymmetrical behavior in normal/healthy individuals, which is due to their different functional tasks in control and propulsion, the assumption of gaining perfect symmetry after rehabilitation and intervention does not seems to be true. However, it is crucial to carry out further investigations in order to obtain the normal range of gait asymmetry in different participants and to understand fundamental factors affecting gait asymmetry.

Keywords: Gait symmetry; Symmetry index; Kinematic; Kinetic

Cite this article as: Samaneh Shakeri, Khosro Khademi-Kalantari, Alireza Akbarzade Baghban. Gait Symmetry and Its Evaluation Methods: A Review. J Rehab Med. 2017; 6(2): 283-297.

*Corresponding author: Alireza Nasirzadeh. PhD Candidate in Sports Biomechanics, Faculty of Sports Sciences and Physical Education, Kharazmi University, Tehran, Iran
Email : alireza.nasirzade@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

تقارن در راه رفتن و روش‌های ارزیابی آن: مطالعه مروری

علیرضا نصیرزاده[1]، حیدر صادقی[2]، حمیدرضا مختاری‌نیا[3]، عباس رحیمی[4]

۱. دانشجوی دکتری بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۲. استاد تمام بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۳. استادیار فیزیوتراپی، گروه ارگونومی، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، تهران، ایران
۴. استاد تمام گروه فیزیوتراپی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

* دریافت مقاله ۱۳۹۵/۰۱/۱۵ بازنگری مقاله ۱۳۹۵/۰۲/۲۹ پذیرش مقاله ۱۳۹۵/۰۹/۱۳ *

چکیده

مقدمه و اهداف

به دلیل اینکه راه رفتن اصلی‌ترین عمل انسان برای جابجایی است، درک پیچیدگی‌ها و زوایای مختلف آن همواره مورد توجه بوده است. یکی از مسائل مورد توجه در این زمینه بحث تقارن راه رفتن است. بر این اساس هدف از مطالعه مروری حاضر بررسی مفهوم تقارن در راه رفتن و روش‌های ارزیابی آن بوده است.

مواد و روش‌ها

با جستجوی مقالاتی که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در زمینه تقارن راه رفتن در بانک‌های اطلاعاتی معتبر منتشر شده بود، بر اساس معیارهای تحقیق تعداد ۷۱ به عنوان مقالات نهایی برای مطالعه مروری حاضر انتخاب شدند.

یافته‌ها

مروری بر مطالعات انجام گرفته نشان می‌دهد که در حالت کلی راه رفتن در افراد سالم و دارای ناهنجاری‌های مختلف از دیدگاه کینماتیکی و کینتیکی نامتقارن است و این مساله به جز مطالعاتی محدود در مورد تمامی پارامترهای کینماتیکی و کینتیکی اندازه‌گیری شده برقرار است. همچنین در حالت کلی می‌توان روش‌های ارزیابی تقارن راه رفتن را به شاخص‌های تقارنی و روش¬های آماری تقسیم‌بندی کرد. در این شرایط شاخص‌های تقارنی علی-رغم سادگی بکارگیری، به دلیل اندازه‌گیری‌های تک‌متغیری نمی‌توانند به خوبی نمایانگر پیچیدگی فضایی–زمانی چرخه راه رفتن باشند. همچنین محدودیت اصلی استفاده از روش‌های آماری ناتوانی در ارائه یک مقدار کمّی است. در این شرایط برای هر دوی این روش¬ها داده‌های نرمال و هنجار در دسترس نیست.

نتیجه‌گیری

با توجه به نامتقارن بودن رفتار اندام‌های تحتانی هنگام راه رفتن در افراد سالم که بیشتر به دلیل تفاوت وظایف عملکردی آنها در زمینه پیشروی و کنترل بروز می‌کند، فرض دستیابی به تقارن کامل پس از توانبخشی و مداخله صحیح به نظر نمی‌رسد. در این حالت انجام مطالعات تکمیلی به منظور دستیابی به دامنه طبیعی عدم تقارن راه رفتن برای آزمودنی‌های مختلف و علل بنیادی تأثیرگذار بر تقارن راه رفتن ضروری است.

کلمات کلیدی

تقارن راه رفتن؛ شاخص تقارنی؛ کینماتیک؛ کینتیک

نویسنده مسئول: علیرضا نصیرزاده، بزرگراه شهید حقانی، رازان جنوبی، مجموعه شهید کشوری، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی دانشگاه خوارزمی تهران

ایمیل: alireza.nasirzade@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه و اهداف

راه رفتن اصلی‌ترین حرکت انسان برای جابجایی و فعالیت بدنی است و در طول روز یک انسان به طور متوسط ۵۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ گام بر می‌دارد.[۱] در اغلب موارد راه رفتن بدون تلاش و ناخودآگاه انجام می‌شود و به همین دلیل درک پیچیدگی‌های بسیار آن دشوار است. توانایی راه رفتن از طریق ارسال سیگنال‌های عصبی در نتیجه‌ی فرآیندهای مرتبط حسی، تنفسی، گردش خون، شناختی، عصبی–عضلانی، اسکلتی–عضلانی و سیستم‌های بیومکانیکی، از طریق نخاع و اعصاب محیطی به عضلات انجام می‌شود که آنها نیز به نوبه¬ی خود مفاصل و اندام‌ها را به حرکت در می‌آورند.[۲] در نتیجه راه رفتن به طور پیوسته در نتیجه یکپارچه‌سازی تمامی اطلاعات بی‌شمار دریافتی برای کنترل مرکز جرم در رابطه با تغییر مداوم سطح اتکا و دستیابی به ثبات انجام می‌شود.[۳]

راه رفتن طبیعی به عنوان روشی برای جابجایی با استفاده ی متناوب هر دو پا برای دستیابی به حمایت (تکیه‌گاه) و پیشروی (رانش) به طوری که در تمامی مراحل حداقل یک پا در تماس با زمین باشد، است.[۲] در شرایط عدم وجود پاتولوژی، راه رفتن فعالیتی هماهنگ، کارآمد و بدون زحمت است، با این وجود بیماری یا تروما می‌تواند دقت، هماهنگی، سرعت و تطبیق‌پذیری آن‌را تحت تأثیر قرار دهد.[۱] بحث در مورد تقارن راه رفتن از این جهت مورد توجه است که اندام‌ها باید از هماهنگی کامل برای دستیابی به حرکتی موزون و روان برخوردار باشند.[۳] از طرفی به دلیل اینکه در بسیاری از موارد عدم تقارن به عنوان عاملی برای پاتولوژی راه رفتن در نظر گرفته می‌شود، نتایج مطالعاتی که با فرض تقارن راه رفتن به تفسیر نتایج خود می‌پردازند، با مشکل مواجه می‌شود.[۳] بنابراین پذیرش تقارن یا عدم تقارن راه رفتن در افراد سالم موضوعی مهم برای پزشکان و همین‌طور مطالعات با هدف ارزیابی راه رفتن، طراحی اُرتز و پروتز و همچنین طراحی پروتکل‌های توانبخشی برای راه رفتن پاتولوژیک است.

بر این اساس مطالعه مروری حاضر با هدف بررسی مفهوم تقارن در راه رفتن و روش‌های ارزیابی تقارن آن انجام گرفته است و در پی یافتن پاسخ این پرسش‌ها است که آیا راه رفتن در حالت کلی عملی متقارن است؟ و اینکه چه روش‌هایی برای ارزیابی آن وجود دارد و نقاط قوت و ضعف آنها کدام است؟ مطالعه مروری حاضر از دو بخش تشکیل شده است. در بخش اول به تعریف و بررسی مطالعات پیرامون تقارن و عدم تقارن در راه رفتن پرداخته می‌شود و بخش دوم مطالعه حاضر به بررسی چگونگی ارزیابی و کمّی سازی تقارن راه رفتن اختصاص دارد.

مواد و روش‌ها

مقالات مرتبط با موضوعات تقارن و عدم تقارن راه رفتن با استفاده از موتورهای جستجوگر PubMed، Google scholar، Ovid Medline، Science direct و Scopus و با در نظر گرفتن معیار مقالات منتشر شده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ و با استفاده از کلید واژه‌های Gait Asymmetry، Bilateral Coordination، Bilateral Asymmetry، Limb Dominance، Laterality، Limb Preference و Performance Asymmetry مورد جستجو و بررسی قرار گرفت (مقالات قبل از سال ۲۰۰۰ در مطالعه مروری صادقی و همکاران[۳] مورد ارزیابی قرار گرفته است). جستجوی کلی اولیه منجر به دستیابی به حدود ۲۵۰۰ مقاله پژوهشی مرتبط شد. پس از بررسی عنوان و خلاصه مقالات یافت شده حدود ۳۰۰ مقاله برای بررسی بعدی انتخاب شدند. در نهایت از میان این مقالات و پس از بررسی متن کامل مقاله و با در نظر گرفتن شاخص‌هایی همچون ارزیابی همزمان عملکرد اندام‌های تحتانی در زمان پروتکل ارزیابی، تمرینی یا توانبخشی و همچنین ایندکس شدن مقاله در بانک‌های اطلاعاتی معتبر، تعداد ۷۱ به عنوان مقالات نهایی برای مطالعه مروری حاضر برگزیده شد.

یافته‌ها

تعریف تقارن در راه رفتن

تقارن به صورت تطابق کامل بین دو نیمه ی یک شکل یا شیء در نظر گرفته می‌شود که در مقابل هر گونه انحراف از این ساختار ایده‌آل نشان‌دهنده‌ی عدم تقارن خواهد بود. به طور کلی تقارن چپی–راستی با تقسیم بدن انسان از طریق صفحه سجیتال میانی قابل مشاهده است. مشخصه این تقارن دوطرفه شامل اندام‌ها، اندام‌های حسی دوطرفه و ستون فقرات قرار گرفته در مرکز است. با وجود پذیرش اصل تقارن ذاتی در رشد طبیعی بدن انسان، عدم تقارن نیز قابل مشاهده است. دو مثال معمول آن شامل تفاوت طول پاها[۴] و عدم توازن ناشی از اندام برتر است.[۳] در هر دوی این شرایط بدن تمایلی سیستماتیک به سمت اندامی خاص پیدا می‌کند و در نتیجه از تقارن خارج می‌شود.[۵]

www.SID.ir

Archive of SID

تقارن در راه رفتن به صورت توافق کامل بین اعمال اندام تحتانی هنگام راه رفتن تعریف شده است.[۳] از طرفی در برخی از مطالعات نیز زمانی راه رفتن را متقارن دانسته‌اند که مقادیر اندازه‌گیری شده برای اندام‌های طرفی یکسان باشد یا تفاوت آنها از نظر آماری معنادار نباشد.[۶] با این وجود به نظر می‌رسد علی‌رغم تعاریف متفاوت، ایده¬ی اصلی برای بیان مفهوم تقارن راه رفتن این‌گونه است که هر دو اندام رفتاری مشابه داشته باشند.[۳، ۷]

تقارن یا عدم تقارن راه رفتن

در گزارش‌های پژوهشی حوزه بیومکانیک تقارن بین اندام‌های تحتانی فرضی کلیدی محسوب می‌شود، به‌طوری‌که با فرض تقارن عملکرد اندام‌های تحتانی، کاهش قابل ملاحظه‌ای در داده‌های جمع‌آوری شده و در نتیجه ی آن کاهش پیچیدگی داده‌های کلی و تحلیل آن به وجود می‌آید.[۳] جدا از بحث روش تحقیق، وجود تقارن یا عدم تقارن در راه رفتن یکی از مباحث کلیدی در زمینه ی مطالعات مربوط به این حوزه است و با وجود گزارش‌های موجود، همچنان موضوعی قابل بحث است. بررسی این عامل از این نظر اهمیت دارد که تقارن راه رفتن به عنوان یک فاکتور مهم برای ارزیابی میزان ناکارآمدی عملکردی به خصوص در افراد بیمار یا دچار ناهنجاری‌های مختلف در نظر گرفته می‌شود، در نتیجه دستیابی به تقارن کامل یا کاهش عدم تقارن راه رفتن در افراد دچار هرگونه اختلال، قبل و بعد از توانبخشی نیز به عنوان روشی برای بررسی اثربخشی الگوی درمانی به کار گرفته شده مورد استفاده قرار گرفته است.[۸-۱۲] در این زمینه Ellis و همکاران[۱۳] گزارش کرده‌اند که افزایش عدم تقارن راه رفتن موجب افزایش هزینه متابولیکی و مکانیکی می‌شود و راه رفتن متقارن را به عنوان بهینه‌ترین حالت برای افراد سالم پیشنهاد نمودند، در نتیجه دستیابی به تقارن کامل راه رفتن در اغلب موارد هدف مهمی برای فیزیوتراپی افراد مبتلا به بیماری‌ها و ناهنجاری‌های عملکردی مختلف بوده است.[۱۱، ۱۴] بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع محققان زیادی وجود تقارن یا عدم تقارن راه رفتن را در افراد سالم و دارای بیماری‌ها و ناهنجاری‌های مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند (جدول ۱). با این وجود در این زمینه مقالات اندکی تقارن راه رفتن را تأیید کرده‌اند. برای مثال Liikavainio و همکاران[۱۵] با بررسی پارامترهای کینماتیکی و GRF بیماران استئوآرتریت مسن در افراد مسن دارای استئوآرتریت هیچ عدم تقارنی را برای متغیرهای کینماتیکی و کینتیکی در لحظه تماس پاشنه با زمین مشاهده نکردند. همچنین Lythgo و همکاران[۱۶] با بررسی پارامترهای کینماتیکی همچون طول گام در آزمودنی‌های کودک و نوجوان سالم گزارش نمودند که در این افراد راه رفتن با سرعت‌های مختلف کاملاً متقارن است. مقاله¬ی دیگری در این زمینه تقارن در راه رفتن را مورد تأیید قرار نداده است. در مقابل مطالعات بسیاری نیز با بررسی پارامترهای مختلف کینماتیکی و کینتیکی عدم تقارن را در راه رفتن افراد سالم و دارای ناهنجاری‌های مختلف گزارش کرده‌اند. برای نمونه در مورد افراد بیمار یا دارای ناهنجاری، عدم تقارن راه رفتن در مورد افراد قطع عضو[۱۷، ۱۸]، دارای پاهای با طول متفاوت[۴، ۱۹]، اسکولیوزیس[۲۰]، پارکینسون[۲۱] و سکته‌ای[۲۲] گزارش شده است. در این زمینه Isakov و همکاران[۱۸] با بررسی پارامترهای کینماتیکی و EMG در مردان میانسال قطع عضو زیر زانو و همین‌طور Nolan و همکاران[۱۷] با بررسی پارامترهای کینماتیکی و vGRF در آزمودنی‌های جوان قطع عضو اندام تحتانی عدم تقارن راه رفتن را در این افراد گزارش کردند. در مورد افراد نوجوان دارای اختلاف طول اندام تحتانی، Perttunen و همکاران[۴] با بررسی پارامترهای GRF و توزیع فشار کف‌پایی عدم تقارن راه رفتن را در این افراد مشاهده نمودند که این یافته در مطالعه مشابه دیگری به روی افراد جوان دارای این ناهنجاری توسط Seeley و همکاران[۱۹] با بررسی پارامترهای کینماتیکی، گشتاور و توان مکانیکی مورد تأیید قرار گرفت. در سال ۲۰۰۴، Chockalingam و همکاران[۲۰] در مورد افراد دارای اسکولیوزیس در زمان راه رفتن با سرعت طبیعی عدم تقارن مؤلفه‌های GRF بین دو اندام تحتانی و ارتباط آن با ناهنجاری اسکولیوزیس را گزارش نمودند. Plotnik و همکاران در دو مطالعه جداگانه با بررسی پارامترهای کینماتیک به روی یک گروه از آزمودنی‌های مسن مبتلا به پارکینسون عدم تقارن شدید و ناهماهنگی اندام‌های تحتانی در زمان راه رفتن عادی را مشاهده نمودند که با افزایش سن و پیشرفت بیماری این عدم تقارن تشدید می‌شد.[۲۱، ۲۳] همچنین در سال ۲۰۰۸، Patterson و همکاران[۲۲] با بررسی پارامترهای کینماتیکی در افراد سکته‌ای مسن عدم تقارن فضایی و زمانی راه رفتن را گزارش نمودند که با افزایش سرعت حرکت عدم تقارن زمانی افزایش می‌یافت. در این شرایط مطالعات متعددی نیز عدم تقارن راه رفتن را در آزمودنی‌های سالم گزارش کرده‌اند که می‌توان آنها را به سه دسته مطالعات انجام گرفته روی کودکان[۱۲، ۲۴]، افراد جوان[۷، ۲۳، ۲۵-۲۸] و آزمودنی‌های مسن[۲۷-۲۹] تقسیم‌بندی کرد. بر این اساس Diop و همکاران[۱۲] با بررسی پارامترهای کینماتیک و GRF در کودکان سالم ۴ تا ۱۰ نشان دادند که راه رفتن در این افراد نامتقارن است. این یافته در مورد کودکان بعدها در مطالعه‌ای دیگر توسط Bosch & Rosenbaum[۲۴] با بررسی پارامترهای توزیع فشار کف‌پایی مورد تأیید قرار گرفت. این محققان نتیجه گرفتند که با دستیابی به توانایی راه رفتن، کودکان رفتاری نامتقارن دارند که با افزایش سن عدم تقارن راه رفتن کاهش پیدا می‌کند. در زمینه تحقیقات انجام گرفته روی آزمودنی‌های جوان Forczek & Staszkiewicz[۲۶] و Plotnik و همکاران[۲۳] با

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی پارامترهای کینماتیکی عدم تقارن راه رفتن را گزارش کرده‌اند. همچنین صادقی[۷] با بررسی نمودار گشتاور عضلانی مفاصل اندام تحتانی در فاز استقرار ۲۰ مرد جوان سالم نشان دادند. علی‌رغم رفتار نامتقارن مفاصل مچ پا، زانو و ران به طور جداگانه (عدم تقارن موضعی[۱])، اندام‌های تحتانی رفتاری مشابه و متقارن دارند (تقارن عمومی[۲]). بر اساس نتایج این مطالعه عدم تقارن در زمان راه رفتن به دلیل تفاوت وظایف عملکردی بین اندام‌ها یا نظریه عدم تقارن عملکردی[۳] بروز می‌کند. در واقع بر اساس این نظریه اندام‌های تحتانی در مراحل مختلف چرخه راه رفتن وظایف عملکردی متفاوتی از جمله کمک به پیش‌راندن بدن و کنترل تعادل آن در برابر نیروی جاذبه را به عهده می‌گیرند.[۳۰] در این زمینه صادقی و همکاران[۶] با بررسی پارامترهای توان عضلانی و انرژی مکانیکی مفاصل اندام تحتانی در مردان جوان سالم گزارش نمودند که در هنگام راه رفتن پای غیربرتر یا چپ از نظر عملکردی برای انجام وظیفه حمایت[۴] یا کنترل به کار گرفته می‌شود، در حالی‌که پای برتر یا راست از نظر عملکردی بیشتر عمل پیشروی[۵] را بر عهده دارد[۶] که این مطلب در مطالعات دیگر نیز مورد حمایت قرار گرفته است[۳۱-۳۴] و مقالاتی نیز آن‌را زیر سؤال برده‌اند.[۳۵، ۳۶] باید توجه داشت که عدم تقارن راه رفتن از نظر عملکردی در افراد سالم نباید به عنوان یک پدیده پاتولوژیکی در نظر گرفته شود، بلکه باید از دیدگاه استراتژی‌های متفاوت کنترل و پیشروی به آن نگریسته شود.[۶] در این حالت مقالات علل متفاوتی را برای توجیه عدم تقارن عملکردی بیان نموده‌اند که شامل تفاوت‌های قدرت و ویژگی‌های آنتروپومتریکی بین دو اندام تحتانی[۳۳] و همین‌طور مکانیزم‌های جبرانی سیستم عصبی[۶] است.

با بررسی مطالعات انجام گرفته در زمینه عدم تقارن راه رفتن، سه مطالعه پژوهشی آزمودنی‌های مسن را مورد بررسی قرار داده بودند. LaRoche و همکاران[۲۹] با بررسی پارامترهای کینماتیکی و GRF در زنان سالم مسن نتیجه گرفتند که راه رفتن در این افراد نامتقارن است. در دو مطالعه مشابه در سال ۲۰۱۴، Kobsar و همکاران[۲۷] و Kobayashi و همکاران[۲۸] با مقایسه بین افراد مسن و جوان از نظر پارامترهای کینماتیکی نتیجه گرفتند با افزایش سن عدم تقارن راه رفتن افزایش پیدا می‌کند. در نهایت بر اساس نتایج این مطالعات انجام گرفته در زمینه تقارن راه رفتن به نظر می‌رسد فارغ از نوع آزمودنی (سالم یا دارای بیماری و ناهنجاری) راه رفتن عملی نامتقارن است. با این وجود عواملی همچون داشتن ناهنجاری و بیماری یا افزایش سن این عدم تقارن را تحت تأثیر قرار داده و در اکثر موارد آن‌را افزایش می‌دهد. همچنین به نظر می‌رسد در سنین ابتدایی راه رفتن انسان عدم تقارن بالایی دارد که با رسیدن به سنین جوانی این عدم تقارن کاهش پیدا می‌کند و مجدداً با رسیدن به دوران کهنسالی این عدم تقارن افزایش پیدا می‌کند. از طرف دیگر با توجه به اینکه به نظر می‌رسد در افراد سالم راه رفتن نامتقارن است، بنابراین انجام مراحل توانبخشی با هدف دستیابی به تقارن کامل پس از طی دوره درمان احتمالاً فرض مناسبی نیست و در نتیجه انجام تمرینات توانبخشی با هدف کاهش عدم تقارن مناسب‌تر به نظر می‌رسد. با این وجود به درستی مشخص نیست که حد مطلوب عدم تقارن بین اندامی در زمان راه رفتن به چه میزان است تا بتوان آستانه مطلوب برنامه‌های تمرینی توانبخشی را تعیین کرد که انجام تحقیقات تکمیلی در این زمینه را ضروری کرده است. از طرفی با توجه به اینکه روش ارزیابی یک طرفه توانایی بررسی چگونگی رفتار اندام مقابل را ندارد و می‌تواند ارزیابی را با اشکال مواجه کند و همچنین احتمال تفاوت رفتاری بین اندام‌های تحتانی برتر و غیربرتر، در این حالت ضروری است در بخش روش‌شناسی مطالعات جدید در زمینه راه رفتن اشاره شود که کدام اندام مورد ارزیابی انجام گرفته است.

1.Local Asymmetry
2.Global Symmetry
3.Functional Asymmetry
4.Support
5.Propulsion

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱: مطالعات انجام گرفته در زمینه تقارن اندام‌های تحتانی در زمان راه رفتن بعد از سال ۲۰۰۰

محقق	آزمودنی‌ها	پروتکل	متغیرها	روش ارزیابی	نتایج	نتیجه‌گیری
Isakov و همکاران، ۲۰۰۰[۱۸]	مردان میانسال قطع عضو زیر زانو	راه رفتن با سرعت دلخواه	کینماتیکی و EMG	روش آماری	عدم تقارن متغیرهای کینماتیکی و EMG بین دو اندام تحتانی	عدم تقارن
صادقی و همکاران، ۲۰۰۰[۳۷]	مردان سالم جوان ۳/۲±۲۶/۲ ساله	راه رفتن با سرعت دلخواه	توان عضلانی	روش آماری	تفاوت وظایف عملکردی شناسایی شده برای اندام‌های تحتانی	عدم تقارن عملکردی
McCrory و همکاران، ۲۰۰۱[۳۸]	آزمودنی‌های آرتروپلاستی مفصل ران	راه رفتن با سرعت دلخواه	GRF	شاخص تقارنی	عدم تقارن مؤلفه‌های GRF بین پاها و همین‌طور تفاوت آن با گروه کنترل	عدم تقارن
Donker & Beek، ۲۰۰۲[۳۹]	آزمودنی‌های قطع عضو بالای زانو و سالم	راه رفتن با سرعت‌های مختلف	کینماتیکی	روش آماری	بهبود هماهنگی راه رفتن با افزایش سرعت راه رفتن	–
Burkett و همکاران، ۲۰۰۳[۴۰]	مردان جوان قطع عضو بالای زانو	راه رفتن با سرعت دلخواه و دویدن با حداکثر سرعت	کینماتیکی	شاخص تقارنی	راه رفتن در این افراد نامتقارن است که در هنگام دویدن عدم تقارن افزایش پیدا می‌کند	عدم تقارن
صادقی، ۲۰۰۳[۷]	مردان سالم جوان ۴/۱±۲۵/۳ ساله	راه رفتن با سرعت دلخواه	گشتاور عضلانی	PCA	تفاوت وظایف عملکردی شناسایی شده برای مفاصل و تشابه آنها برای اندام‌های تحتانی	عدم تقارن موضعی و تقارن اندامی
Goble و همکاران، ۲۰۰۳[۵]	مردان سالم جوان ۲/۲±۲۳/۸ ساله	راه رفتن با ۳ سرعت آهسته، طبیعی و سریع	GRF	روش آماری	بهبود تقارن راه رفتن با افزایش سرعت راه رفتن	–
Nolan و همکاران، ۲۰۰۳[۱۷]	آزمودنی‌های جوان قطع عضو اندام تحتانی	راه رفتن با ۴ سرعت مختلف	کینماتیکی و vGRF	شاخص تقارنی	کاهش عدم تقارن زمانی و افزایش عدم تقارن vGRF با افزایش سرعت راه رفتن	عدم تقارن
Hesse و همکاران، ۲۰۰۳[۹]	آزمودنی‌های آرتروپلاستی مفصل ران	راه رفتن با سرعت دلخواه	کینماتیکی و EMG	شاخص تقارنی	کاهش بیشتر عدم تقارن راه رفتن پس از تمرینات حمایت وزن بدن روی تردمیل نسبت به تمرینات توانبخشی مرسوم	–
Perttunen و همکاران، ۲۰۰۴[۴]	آزمودنی‌های نوجوان ۱۴/۶ ساله با تفاوت طول پاها	راه رفتن با دو سرعت طبیعی و سریع	GRF و توزیع فشار کف‌پایی	شاخص تقارنی	افزایش عدم تقارن راه رفتن در سرعت بالاتر	عدم تقارن
Chockalingam و همکاران، ۲۰۰۴[۲۰]	آزمودنی‌های نوجوان دارای اسکولیوزیس	راه رفتن با سرعت طبیعی	GRF	شاخص تقارنی	عدم تقارن مؤلفه‌های GRF بین دو اندام تحتانی و ارتباط آن با ناهنجاری اسکولیوزیس	عدم تقارن
Diop و همکاران، ۲۰۰۴[۱۲]	کودکان سالم ۴ تا ۱۰ سال	راه رفتن با ۳ سرعت مختلف	کینماتیکی و GRF	شاخص تقارنی	در این افراد راه رفتن عملی نامتقارن بود که سن و سرعت تأثیری بر آن نداشت.	عدم تقارن
Rodgers و همکاران، ۲۰۰۴[۴۱]	آزمودنی‌های مسن سکته‌ای	راه رفتن با سرعت دلخواه	توزیع فشار کف‌پایی	شاخص تقارنی	کاهش عدم تقارن راه رفتن با افزایش سرعت آن در این افراد	–
Kramers-de Quervain و همکاران،	زنان نوجوان دارای اسکولیوسیس ناشناخته	راه رفتن با سرعت دلخواه	کینماتیکی و GRF	شاخص تقارنی	تقارن پارامترهای کینماتیکی در سه بعد و نیروی عکس‌العمل سطح بین دو اندام تحتانی	عدم تقارن

www.SID.ir

Archive of SID

[۴۲]۲۰۰۴						
Plotnik و همکاران، [۲۱]۲۰۰۵	بیماران پارکینسونی مسن	راه رفتن با سرعت دلخواه	کینماتیکی	شاخص تقارنی	عدم تقارن شدید و ناهماهنگی اندام‌های تحتانی در زمان راه رفتن	عدم تقارن
Plotnik و همکاران، [۴۳]۲۰۰۷	آزمودنی‌های سالم جوان و مسن و بیماران پارکینسونی مسن	راه رفتن با سرعت دلخواه	کینماتیکی	شاخص تقارنی	با افزایش سن عدم تقارن راه رفتن بیشتر می‌شود و در نتیجه پارکینسون نیز این عدم تقارن بدتر می‌شود.	عدم تقارن
Liikavainio و همکاران، [۱۵]۲۰۰۷	بیماران استئوآرتریت مسن	راه رفتن با ۲ سرعت طبیعی و سریع	کینماتیکی و GRF	شاخص تقارنی	هیچ عدم تقارنی برای متغیرهای کینماتیکی و کینتیکی در لحظه تماس پاشنه با زمین مشاهده نشد.	تقارن
Patterson و همکاران، [۲۲]۲۰۰۸	بیماران سکته‌ای مسن	راه رفتن با ۲ سرعت طبیعی و سریع	کینماتیکی	روش آماری	عدم تقارن فضایی و زمانی راه رفتن که با افزایش سرعت راه رفتن عدم تقارن زمانی تشدید می‌شد.	عدم تقارن
Hodt-Billington و همکاران، ۲۰۰۸[۴۴]	آزمودنی‌های سالم و سکته‌ای مزمن مسن	راه رفتن با ۳ سرعت آهسته، طبیعی و سریع	کینماتیکی	شاخص تقارنی	به جز حرکات تنه، دیگر متغیرها توانایی تمایز بین آزمودنی‌ها را نداشتند و از آن می‌توان به عنوان فاکتوری برای ارزیابی عدم تقارن راه رفتن در این بیماران استفاده کرد.	عدم تقارن
Senden و همکاران، [۴۵]۲۰۰۹	مردان و زنان سالم ۲۰ تا ۸۶ سال	راه رفتن با سرعت طبیعی	کینماتیکی	شاخص تقارنی	جنسیت و سن تأثیر معناداری بر عدم تقارن راه رفتن ندارند.	–
Bosch and Rosenbaum، ۲۰۱۰[۲۴]	کودکان سالم	راه رفتن با سرعت طبیعی	توزیع فشار کف‌پایی	شاخص تقارنی	با شروع راه رفتن، کودکان رفتاری نامتقارن دارند که با افزایش سن عدم تقارن راه رفتن کاهش پیدا می‌کند.	عدم تقارن
Patterson و همکاران، [۴۶]۲۰۱۰	آزمودنی‌های سالم و سکته‌ای مسن	راه رفتن با سرعت طبیعی	کینماتیکی	شاخص تقارنی	با مقایسه شاخص‌های تقارنی هیچ‌کدام در زمینه توانایی افتراقی برتری نداشتند، با این وجود استفاده از Symmetry Ratio به دلیل ساده بودن تفسیر آن توصیه می‌شود.	–
Seeley و همکاران، [۱۹]۲۰۱۰	آزمودنی‌های جوان سالم با طول اندام تحتانی متفاوت	راه رفتن با سرعت طبیعی	کینماتیکی، گشتاور و توان مکانیکی	شاخص تقارنی	راه رفتن در این افراد نامتقارن است و با بیشتر شدن این ناهنجاری، عدم تقارن آن افزایش می‌یابد.	عدم تقارن
Kong و همکاران، [۲۵]۲۰۱۰	آزمودنی‌های جوان سالم	راه رفتن با سرعت طبیعی	کینماتیکی	شاخص تقارنی	خستگی فیزیولوژیکی بر عدم تقارن راه رفتن تأثیرگذار نیست.	عدم تقارن
Lythgo و همکاران، [۱۶]۲۰۱۰	آزمودنی‌های کودک و نوجوان سالم	راه رفتن با ۳ سرعت آهسته، طبیعی و سریع	کینماتیکی	شاخص تقارنی	راه رفتن در کودکان و نوجوانان سالم بسیار متقارن است.	تقارن
Bradley و همکاران، [۴۷]۲۰۱۲	آزمودنی‌های مسن سکته‌ای	راه رفتن با ۲ سرعت طبیعی و سریع	کینماتیکی	شاخص تقارنی	بین عدم تقارن راه رفتن و تعادل پویا در این افراد همبستگی مشاهده شد که پیشنهاد می‌کند افزایش عدم تقارن در این افراد آنها را در معرض افزایش خطر زمین خوردن قرار می‌دهد.	–
Patterson و همکاران، [۱۰]۲۰۱۲	آزمودنی‌های سکته‌ای و سالم بزرگسال	راه رفتن با سرعت دلخواه	کینماتیکی	شاخص تقارنی	هیچ ارتباط معناداری بین عدم تقارن راه رفتن با سن و سرعت برای هر دو گروه مشاهده نشد.	عدم تقارن

www.SID.ir

Archive of SID

Chester & Calhoun، ۲۰۱۲[۴۸]	کودکان دارای بیماری اوتیسم	راه رفتن با سرعت طبیعی	کینماتیکی	شاخص تقارنی	هیچ تفاوت معناداری بین این کودکان با کودکان سالم از نظر شاخص‌های تقارنی و پارامترهای فضایی زمانی مشاهده نشد.	–
Forczek & Staszkiewicz، ۲۰۱۲[۲۶]	زنان و مردان جوان سالم	راه رفتن با سرعت ثابت	کینماتیکی	شاخص تقارنی	مفاصل اندام تحتانی در زمان راه رفتن از نظر تغییرات زاویه‌ای نامتقارن هستند و همچنین برای عدم تقارن پارامترهای زاویه‌ای و فضایی زمانی بین دو جنس تفاوت‌هایی وجود دارد.	عدم تقارن
LaRoche و همکاران، ۲۰۱۲[۲۹]	زنان مسن سالم	راه رفتن با سرعت طبیعی و حداکثر سرعت ممکن	کینماتیکی و GRF	شاخص تقارنی	افزایش عدم تقارن راه رفتن با افزایش عدم تقارن قدرت اکستنشن زانو که با افزایش سرعت نیز تشدید می‌شود.	عدم تقارن
Winiarski & Czamara، ۲۰۱۲[۴۹]	آزمودنی‌های جوان دچار پارگی ACL	راه رفتن با سرعت دلخواه	کینماتیکی	شاخص تقارنی	بهبود معناداری در شاخص‌های عدم تقارن این افراد پس از ۱۲ هفته فیزیوتراپی مشاهده شد.	–
Ellis و همکاران، ۲۰۱۳[۱۳]	آزمودنی‌های جوان سالم	راه رفتن با سرعت ثابت	کینماتیکی	شاخص تقارنی	افزایش عدم تقارن راه رفتن موجب افزایش هزینه متابولیکی و مکانیکی می‌شود و راه رفتن متقارن به عنوان بهینه‌ترین حالت برای افراد سالم پیشنهاد می‌شود.	–
Plotnik و همکاران، ۲۰۱۳[۲۳]	آزمودنی‌های جوان سالم	راه رفتن با ۳ سرعت آهسته، طبیعی و سریع	کینماتیکی و GRF	شاخص تقارنی	ارتباط معناداری بین سرعت راه رفتن و عدم تقارن آن وجود نداشت.	عدم تقارن
Kobsar و همکاران، ۲۰۱۴[۲۷]	آزمودنی‌های سالم جوان و مسن	راه رفتن با سرعت دلخواه	کینماتیکی	شاخص تقارنی	با افزایش سن عدم تقارن راه رفتن افزایش پیدا می‌کند.	عدم تقارن
Kobayashi و همکاران، ۲۰۱۴[۲۸]	مردان و زنان سالم جوان و مسن	راه رفتن با سرعت دلخواه	کینماتیکی	شاخص تقارنی	با افزایش سن عدم تقارن راه رفتن افزایش پیدا می‌کند و مردان نسبت به زنان عدم تقارن بیشتری داشتند و همچنین اثر جنسیت نسبت به سن بر عدم تقارن راه رفتن بارزتر بود.	عدم تقارن
Mahon و همکاران، ۲۰۱۴[۵۰]	آزمودنی‌های مسن سکته‌ای کلاس‌بندی شده در دو گروه با توانایی راه رفتن با سرعت بالا و پایین	راه رفتن با سرعت‌های مختلف	توان مکانیکی	روش آماری	عدم تقارن توان مکانیکی در این افراد تحت تأثیر سرعت راه رفتن قرار نمی‌گیرد که تفکر غالب در مورد سرعت راه رفتن به عنوان اندازه‌گیری فانکشن بیمار را زیر سؤال می‌برد.	–
Hendrickson و همکاران، ۲۰۱۴[۵۱]	آزمودنی‌های مسن سکته‌ای	راه رفتن با سرعت دلخواه	کینماتیکی	شاخص تقارنی	کاهش مشارکت اندام دچار اختلال برای کنترل تعادل ایستا با میزان عدم تقارن فضایی و زمانی راه رفتن مرتبط است.	–

www.SID.ir

Archive of SID

ارزیابی و کمّی سازی تقارن راه رفتن

در شرایط آزمایشگاهی آنالیز راه رفتن معمولاً شامل ارزیابی کیفی، اندازه‌گیری‌های کمّی آزمایشگاهی یا ترکیبی از هر دو است.[۳۰] در طی ارزیابی کیفی، معاینه چشمی برای بررسی جنبه‌های عینی و قابل مشاهده بیمار در زمینه ناهنجاری‌های راه رفتن انجام می‌شود.[۱] در این حالت عدم تقارن به طور کلی به عنوان علامت بیماری و پاتولوژی در نظر گرفته شده و برای ارزیابی و پیگیری نقایص حرکتی بیمار مورد استفاده قرار می‌گیرد و پایه این ارزیابی‌های بصری این مطلب است که حرکت هماهنگ اندام‌های تحتانی دارای درجه بالایی از تقارن است و فهم عدم تقارن درک روشنی در ارتباط با سودمندی درمان در دوره توانبخشی پس از آسیب یا بیماری فراهم می‌آورد.[۵۲]

با این حال به دلیل اینکه بازبینی بصری راه رفتن در واقع نوعی ارزیابی کیفی است، اغلب با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی کمّی همراه می‌شود تا امکان ارزیابی دقیق‌تر و پیچیده‌تری از عملکرد راه رفتن را فراهم آورد.[۱] در این حالت معمولاً پارامترهای تک‌متغیری همچون سرعت راه رفتن، طول گام، زاویه چرخش پا، حداکثر دامنه¬ی حرکت مفاصل و مدت زمان فازهای استقرار (Stance) و تاب خوردن (Swing) راه رفتن برای ارزیابی اختلالات راه رفتن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.[۵۲] در این میان با در نظر گرفتن فرض وجود تقارن برای تک‌متغیرها در زمان راه رفتن، از شاخص‌های تقارنی[1] برای شناسایی پاتولوژی و پیگیری ریکاوری استفاده می‌شود[۳] (جدول ۲). در واقع شاخص‌های تقارن در اغلب موارد درجه رفتار تقارنی را با اندازه‌گیری تفاوت بین اندام‌های چپ و راست برای پارامتری مشخص و نرمال‌سازی آن نسبت به یک مقدار متوسط به دست آمده از دو طرف ارزیابی می‌کنند و در بیشتر مواقع شاخص تقارنی نزدیک به صفر نشان‌دهنده¬ی رفتار متقارن اندام‌ها است. شاخص‌های تقارنی در مطالعات زیادی برای بررسی تقارن راه رفتن مورد استفاده قرار گرفته و پارامترهای مورد استفاده در شاخص‌های تقارنی شامل متغیرهای کینماتیکی[۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۶، ۲۱، ۲۲، ۲۵-۲۹، ۴۰، ۴۲-۵۱]، توزیع فشار کف‌پایی[۴، ۲۴، ۴۱]، GRF[۴، ۱۲، ۱۵، ۲۰، ۲۳، ۲۹، ۳۸، ۴۲]، گشتاور و توان مکانیکی[۱۹] و کار تولیدی[۵۳] بوده‌اند. Patterson و همکاران[۴۶] پیشنهاد نموده‌اند برای محاسبه¬ی تقارن راه رفتن انتخاب معادله اصلی‌ترین مؤلفه و پارامترهای مورد استفاده در معادله مؤلفه¬ی اصلی دوم است.

چندین مطالعه با اشاره به مفید بودن شاخص‌های تقارنی، بکارگیری آنها را برای بررسی پاتولوژی راه رفتن مفید دانسته‌اند[۵۴، ۵۵]، هر چند که محققانی نیز به کمبودهای این شاخص‌ها اشاره نموده‌اند.[۳، ۵۲] برای مثال مشکل اساسی شاخص تقارن ارائه شده توسط Robinson و همکاران[۵۶] که پراستفاده‌ترین شاخص تقارنی است، این است که تفاوت بین اندام‌ها نسبت به مقدار متوسط آنها ارائه می‌شود. در این حالت برای مثال اگر عدم تقارن زیادی بین اندام‌ها وجود داشته باشد، مقدار متوسط به درستی منعکس‌کننده عملکرد هر دو اندام نیست. همچنین پارامترهایی که مقادیر بزرگ اما تفاوت بین اندامی اندکی دارند، موجب می‌شوند تا مقدار شاخص به سمت صفر میل کند و وجود تقارن را ارائه کند. محدودیت‌های مشابهی در مورد دیگر شاخص‌های تقارنی نیز وجود دارد. با این وجود مشکل اصلی و بنیادی تمامی شاخص‌های تقارنی این است که اندازه‌گیری‌های تک متغیری نمی‌تواند به درستی نمایانگر پیچیدگی فضایی-زمانی چرخه راه رفتن باشد و اطلاعات اندکی را در ارتباط با رفتار دیگر مفاصل ارائه می‌کند.[۵۲] در این حالت برای ارزیابی مؤثر و نظارت بر ریکاوری باید اثر دیگر مفاصل همان طرف و طرف مقابل نیز در نظر گرفته شود، زیرا عمل راه رفتن در یک زنجیره بسته رخ می‌دهد و ممکن است مکانیزم‌های جبرانی موجب شود تا نقص یکی از مفاصل توسط دیگر مفاصل جبران شود.[۱] برای مثال ارزیابی کمّی و محاسبه شاخص‌های تقارنی در مورد دامنه حرکتی مفصل در نقاط گسسته چرخه راه رفتن (مانند تماس پاشنه و جدا شده پنجه) به راحتی قابل انجام است، اما چنین اندازه‌گیری‌هایی نمی‌توانند به بررسی حرکات انجام شده بین این دو نقطه¬ی زمانی پرداخته و همچنین قادر نیست تا چگونگی تأثیرگذاری مشکل یک مفصل بر دیگر مفاصل را ارائه کند.[۵۲] با این وجود شاخص‌های تقارنی یک ارزیابی کلی و سریع را در مورد عدم تقارن فرد فراهم می‌آورند و معمولاً به راحتی می‌توان آنها را تفسیر کرد، اما ارزیابی دقیق‌تر نیازمند در نظر گرفتن عوامل دیگری است. در این حالت محققان مختلف میزان ۱۰٪ انحراف از تقارن را برای در نظر گرفتن عدم تقارن راه رفتن در افراد مبتلا به بیماری‌ها و ناهنجاری‌های مختلف مطلوب دانسته‌اند.[۱۲، ۲۲، ۴۶، ۵۲، ۵۷] هر چند که به نظر می‌رسد بکارگیری یک معیار ثابت برای بررسی عدم تقارن تمامی پارامترهای کینماتیکی و کینتیکی راه رفتن مطلوب نباشد، زیرا این مقدار برای پارامترهای مختلف و در افراد با ویژگی‌های متفاوت می‌تواند تغییر کند.[۵۸]

برای برطرف کردن محدودیت‌های استفاده از شاخص‌های تقارنی، محققان روش‌های دیگری را برای بررسی رفتار تقارنی راه رفتن ارائه کرده‌اند. در این زمینه Manal & Stanhope[۵۹] به مقایسه کیفی انحراف داده‌های کینماتیک الگوی حرکتی راه رفتن نسبت به داده‌های نرمال با استفاده از روش ارزیابی جهت انحراف پرداختند. با این وجود این روش اطلاعات کمّی در ارتباط با مقایسه و آنالیز الگوی حرکتی ارائه نکرده و همچنین تقارن پارامترهای به دست آمده از اندام‌های طرفی را ارزیابی نمی‌کند.[۵۲] همچنین Crenshaw &

1.Symmetry Indices

www.SID.ir

Archive of SID

Richards[۶۰] به طور کمّی به ارزیابی تقارن زاویه مفصلی با استفاده از روش بردارهای ویژه برای مقایسه شکل موج نمودار زاویه مفصلی پرداختند. ارزیابی تقارن در این روش با شناسایی زاویه مفصلی دچار عدم تقارن و منحرف شده از اندازه‌گیری‌های نرمال انجام می‌شود، هر چند که این روش به درستی مشخص نمی‌کند که زمان وقوع این انحراف دقیقاً در کجای چرخه راه رفتن است.[۵۲] آنالیز آنتروپی تفکیکی چندگانه[۱][۶۱] نیز یکی دیگر از روش‌های ارائه شده در این زمینه است.

یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده برای ارزیابی تقارن اندام‌های تحتانی در زمان راه رفتن که می‌تواند محدودیت‌های استفاده از شاخص‌های تقارنی را برطرف کند، بکارگیری روش‌های آماری است.[۳، ۶۲] در این زمینه روش‌های آماری مورد استفاده برای بررسی تقارن راه رفتن شامل آزمون t استیودنت[۶، ۱۸]، MANOVA و نسبت واریانس[۶۳]، آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)[۷]، ضرایب همبستگی[۲۲، ۶۴]، همبستگی متقابل[۲][۶۵، ۶۶]، آنالیز نواحی انحراف[۵۹]، ضرایب تغییرات[۳][۵] و مجذور میانگین مربع[۴][۶۵] بوده است. در این حالت استفاده از روش‌ها و مدل‌های آماری مناسب می‌تواند درک روشن‌تری در ارتباط با درک پدیده پیچیده‌ای همچون تقارن راه رفتن فراهم آورد، زیرا پارامترهای بسیار زیاد راه رفتن باید به طور همزمان تحلیل شوند.[۳] شاید به همین دلیل باشد که مطالعات جدیدتر به سمت استفاده از روش‌های آنالیز چندمتغیری برای بررسی تشابه یا عدم تشابه رفتار اندام‌های تحتانی در زمان راه رفتن رفته باشند. در این زمینه صادقی و همکاران[۳، ۷] روش PCA را به عنوان روشی مناسب برای کلاس‌بندی و تشخیص ساختار اصلی داده‌ها پیشنهاد کرده‌اند که می‌تواند برای بررسی حجم زیاد داده‌های راه رفتن مناسب باشد. با این وجود در حالت کلی محدودیت اصلی استفاده از روش‌های آماری در بررسی‌های کلینیکالی می‌تواند نیاز به انجام آزمون‌های اضافه برای دسترسی به داده‌های نرمال به دست آمده از آزمودنی‌های سالم به عنوان مبنا و مرجع بررسی باشد. همچنین این روش‌ها قابلیت ارائه یک مقدار کمّی را ندارند، بنابراین با استفاده از آنها نمی‌توان اثر عدم تقارن را مورد ارزیابی قرار داد.

1.Multi-Resolution Entropy Analysis
2.Cross-Correlation
3.Coefficient of Variation
4.Root Mean Square (RMS)

www.SID.ir

Archive of SID

Published Online: 2016.December.26 **Review Article**

جدول ۲. شاخص‌های تقارن که در مطالعات انجام گرفته برای ارزیابی تقارن راه رفتن در نمونه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. در این فرمول‌ها مقادیر X_r و X_l به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده از اندام راست و چپ بوده است.

منبع	نام فرمول	فرمول	توضیح
Ganguli و همکاران، ۱۹۷۴[۶۷]	Symmetry Ratio	$R = \frac{X_r}{X_l}$	مقدار SR برابر یک نشان‌دهنده¬ی تقارن و مقادیر بالاتر و پایین‌تر از یک بیانگر عدم تقارن است. از این شاخص برای بررسی عدم تقارن راه رفتن در بیماران پس از سکته[۴۶]، اوتیسم[۴۸]، آرتروپلاستی مفاصل اندام تحتانی[۹] و قطع عضو اندام تحتانی[۶۷] استفاده شده است.
Robinson و همکاران، ۱۹۷۸[۵۶]	Symmetry Index	$SI = \frac{(X_r - X_l)}{0.5\,(X_r + X_l)} \cdot 100$	مقدار SI برابر صفر نشان‌دهنده ی تقارن راه رفتن و مقادیر بیشتر و کمتر از صفر نشان‌دهنده‌ی عدم تقارن است. از این شاخص برای بررسی عدم تقارن راه رفتن در افراد سالم[۲۵]، بیماران پس از سکته[۴۶]، آرتروپلاستی مفصل ران[۳۸]، اختلاف طول اندام‌های تحتانی[۴]، شکستگی استخوان اندام تحتانی[۸] و اوتیسم[۴۸] استفاده شده است.
Vagenas & Hoshizaki، ۱۹۹۲[۶۸]	Ratio Index	$RI = \frac{(l - r)}{\max(l, r)} \cdot 100$	مقدار RI برابر صفر نشان‌دهنده ی تقارن راه رفتن و مقادیر بیشتر و کمتر از صفر نشان‌دهنده ی عدم تقارن است. از این شاخص برای بررسی عدم تقارن راه رفتن در افراد سالم[۲۶]، قطع عضو اندام تحتانی[۶۹] و بیماران پارکینسون[۷۰] استفاده شده است.
Plotnik و همکاران، ۲۰۰۵[۲۱]	Gait Asymmetry	$GA = 100 \times \left\lvert \ln \frac{X_r}{X_l} \right\rvert$	مقدار GA برابر صفر نشان‌دهنده ی تقارن است. این شاخص برای بررسی عدم تقارن راه رفتن در افراد سالم[۲۱، ۲۳]، بیماران پس از سکته[۴۶]، پارکینسون[۲۱] و اوتیسم[۴۸] مورد استفاده قرار گرفته است.
Hodt-Billington و همکاران، ۲۰۰۸[۴۴]	Symmetry Ratio footfall	$SR = \left\lvert 1 - \frac{\text{Limb with lower value (or l)}}{\text{Limb with higher value (or r)}} \right\rvert$	مقدار SR برابر صفر نشان‌دهنده ی تقارن راه رفتن است. از این شاخص برای بررسی عدم تقارن راه رفتن در بیماران استئوآرتریت[۱۱] و سکته[۴۴] استفاده شده است.
Zifchock و همکاران، ۲۰۰۸[۷۱، ۷۲]	Symmetry Angle	$SA = \frac{[45° - \arctan(X_l / X_r) \cdot 100]}{90}$	مقدار SA برابر صفر نشان‌دهنده¬ی تقارن است. از این شاخص برای بررسی عدم تقارن راه رفتن در افراد سالم[۲۵]، بیماران پس از سکته[۴۶]، آرتروپلاستی مفصل ران[۷۳]، اوتیسم[۴۸] استفاده شده است.
Nigg و همکاران، ۲۰۱۳[۷۴]	Symmetry Index	$SI = \int_{t=t_1}^{t_2} A\lvert X_r(t) - X_l(t)\rvert dt$ $A = \frac{2}{\text{range}(X_r(t)) + \text{range}(X_l(t))}$	مقدار SI برابر صفر نشان‌دهنده¬ی تقارن کامل است. این شاخص برای بررسی عدم تقارن راه رفتن در افراد سالم[۷۴] مورد استفاده قرار گرفته است.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

تقارن راه رفتن از این جهت مورد توجه است که اندام‌ها باید از هماهنگی کامل برای دستیابی به حرکتی موزون و روان برخوردار باشند، اما در حالت کلی به منظور ساده‌سازی تحلیل داده‌ها رفتار اندام‌ها در زمان راه رفتن به صورت متقارن در نظر گرفته می‌شود در حالی‌که به نظر می‌رسد وجود عدم تقارن در زمان راه رفتن بیشتر به دلیل تفاوت وظایف عملکردی بین اندام‌ها بروز می‌کند. این تفاوت عملکردی نشانه ناهنجاری نیست، بلکه به دلیل مشارکت هر اندام برای انجام وظایف پیشروی و کنترل به وجود می‌آید. با این وجود انجام مطالعات آینده بروی نمونه‌هایی با حجم بالا، با استفاده از تجهیزات پیشرفته‌تر و بررسی تمامی مراحل راه رفتن می‌تواند درک روشن‌تری در این زمینه فراهم آورد. انجام چنین مطالعاتی موجب دستیابی به دامنه طبیعی تقارن راه رفتن برای آزمودنی‌های مختلف، دستیابی به نتایج معتبرتر و دستیابی به علل بنیادی تأثیرگذار بر تقارن راه رفتن و اینکه کدام یک از فازهای به خصوص راه رفتن از نظر تقارنی حساسیت بیشتری دارد، می‌شود. همچنین ارائه شاخص‌های تقارنی کامل‌تر به‌طوری‌که نقایص موجود را پوشش دهد و همین‌طور روشن شدن این مطلب که کدام یک از این شاخص‌ها برای نمونه‌های مختلف مناسب‌تر بوده و دامنه آن برای راه رفتن طبیعی و غیرکارآمد چگونه است، ضروری به نظر می‌رسد. در نهایت از چنین اطلاعاتی می‌توان به منظور بهبود فعالیت‌های عملکردی افراد ورزشکار، ارزیابی راه رفتن، تجویزهای بالینی برای افراد بیمار و دارای ناهنجاری و همین‌طور طراحی ارتز و پروتز استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از تمام افرادی که ما را در انجام تحقیق حاضر یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌نماییم. همچنین این مقاله برگرفته از رساله دکتری به نگارش علیرضا نصیرزاده با عنوان «مقایسه متغیرهای منتخب کینماتیکی و کینتیکی اندام‌های تحتانی حین راه رفتن و دویدن با سرعت‌های مختلف در مردان جوان ورزشکار با تأکید بر اندام برتر» با راهنمایی دکتر حیدر صادقی می‌باشد.

منابع

1.Perry J, Burnfield JM. Gait analysis: normal and pathological function. 2th ed. USA: SLACK Incorporated; 2010.

2.Whittle MW. Gait analysis: an introduction. 4th ed. Edinburgh: Butterworth-Heinemann Elsevier; 2007.

3.Sadeghi H, Allard P, Prince F, Labelle H. Symmetry and limb dominance in able-bodied gait: a review. Gait and Posture. 2000;12(1):34-45.

4.Perttunen JR, Anttila E, Sodergard J, Merikanto J, Komi PV. Gait asymmetry in patients with limb length discrepancy. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports. 2004;14(1):49-56.

5.Goble DJ, Marino GW, Potvin JR. The influence of horizontal velocity on interlimb symmetry in normal walking. Human Movement Science. 2003;22(3):271-83.

6.Sadeghi H, Allard P, Duhaime M. Functional gait asymmetry in able-bodied subjects. Human Movement Science. 1997;16(2):243-58.

7.Sadeghi H. Local or global asymmetry in gait of people without impairments. Gait and Posture. 2003;17(3):197-204.

8.Becker HP, Rosenbaum D, Kriese T, Gerngross H, Claes L. Gait asymmetry following successful surgical treatment of ankle fractures in young adults. Clinical orthopaedics and related research. 1995;311:262-9.

9.Hesse S, Werner C, Seibel H, von Frankenberg S, Kappel EM, Kirker S, et al. Treadmill training with partial body-weight support after total hip arthroplasty: a randomized controlled trial. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2003;84(12):1767-73.

10. Patterson KK, Nadkarni NK, Black SE, McIlroy WE. Gait symmetry and velocity differ in their relationship to age. Gait and Posture. 2012;35(4):590-4.

11. Hodt-Billington C, Helbostad JL, Vervaat W, Rognsvåg T, Moe-Nilssen R. Criteria of gait asymmetry in patients with hip osteoarthritis. Physiotherapy Theory and Practice. 2011;28(2):134-41.

12. Diop M, Rahmani A, Belli A, Gautheron V, Geyssant A, Cottalorda J. Influence of speed variation and age on the asymmetry of ground reaction forces and stride parameters of normal gait in children. Journal of Pediatric Orthopaedics B. 2004;13(5):308-14.

13. Ellis RG, Howard KC, Kram R. The metabolic and mechanical costs of step time asymmetry in walking. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 2013;280(1756):20122784.

14. Durham S, Eve L, Stevens C, Ewins D. Effect of functional electrical stimulation on asymmetries in gait of children with hemiplegic cerebral palsy. Physiotherapy. 2004;90(2):82-90.

www.SID.ir

Archive of SID

15. Liikavainio T, Isolehto J, Helminen HJ, Perttunen J, Lepola V, Kiviranta I, et al. Loading and gait symmetry during level and stair walking in asymptomatic subjects with knee osteoarthritis: importance of quadriceps femoris in reducing impact force during heel strike? Knee. 2007;14(3):231-8.
16. Lythgo N, Wilson C, Galea M, editors. Gait Symmetry in School-Aged Children and Young Adults Whilst Walking at Slow, Normal and Fast Speeds. 6th World Congress of Biomechanics (WCB 2010) August 1-6, 2010 Singapore; 2010: Springer.
17. Nolan L, Wit A, Dudzinski K, Lees A, Lake M, Wychowanski M. Adjustments in gait symmetry with walking speed in trans-femoral and trans-tibial amputees. Gait and Posture. 2003;17(2):142-51.
18. Isakov E, Keren O, Benjuya N. Trans-tibial amputee gait: time-distance parameters and EMG activity. Prosthetics and Orthotics International. 2000;24(3):216-20.
19. Seeley MK, Umberger BR, Clasey JL, Shapiro R. The relation between mild leg-length inequality and able-bodied gait asymmetry. Journal of Sports Science & Medicine. 2010;9(4):572-9.
20. Chockalingam N, Dangerfield PH, Rahmatalla A, Ahmed el N, Cochrane T. Assessment of ground reaction force during scoliotic gait. European Spine Journal. 2004;13(8):750-4.
21. Plotnik M, Giladi N, Balash Y, Peretz C, Hausdorff JM. Is freezing of gait in Parkinson's disease related to asymmetric motor function? Annals of Neurology. 2005;57(5):656.۶۳–
22. Patterson KK, Parafianowicz I, Danells CJ, Closson V, Verrier MC, Staines WR, et al. Gait asymmetry in community-ambulating stroke survivors. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2008;89(2):304-10.
23. Plotnik M, Bartsch RP, Zeev A, Giladi N, Hausdorff JM. Effects of walking speed on asymmetry and bilateral coordination of gait. Gait and Posture. 2013;38(4):864-9.
24. Bosch K, Rosenbaum D. Gait symmetry improves in childhood - A 4-year follow-up of foot loading data. Gait and Posture۸–۴۶۴:(۴)۳۲;۲۰۱۰ .
25. Kong PW, Beauchamp G, Suyama J, Hostler D. Effect of fatigue and hypohydration on gait characteristics during treadmill exercise in the heat while wearing firefighter thermal protective clothing. Gait and Posture. 2010;31(2):284-8.
26. Forczek W, Staszkiewicz R. An evaluation of symmetry in the lower limb joints during the able-bodied gait of women and men. Journal of Human Kinetics. 2012;35:47-57.
27. Kobsar D, Olson C, Paranjape R, Hadjistavropoulos T, Barden JM. Evaluation of age–related differences in the stride-to-stride fluctuations, regularity and symmetry of gait using a waist-mounted tri-axial accelerometer. Gait and Posture. 2014;39(1):553-7.
28. Kobayashi H, Kakihana W, Kimura T. Combined effects of age and gender on gait symmetry and regularity assessed by autocorrelation of trunk acceleration. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. 2014 11(1):109.
29. LaRoche DP, Cook SB, Mackala K. Strength asymmetry increases gait asymmetry and variability in older women. Medicine and science in sports and exercise. 2012;44(11):2172-81.
30. Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement. 4th ed. Canada: John Wiley & Sons; 2009.
31. Gregg RD, Dhaher YY, Degani A, Lynch KM. On the mechanics of functional asymmetry in bipedal walking. Biomedical Engineering, IEEE Transactions on. 2012;59(5):1310-8.
32. Gregg RD, Degani A, Dhaher Y, Lynch KM, editors. The basic mechanics of bipedal walking lead to asymmetric behavior. Rehabilitation Robotics (ICORR), 2011 IEEE International Conference on; 2011: IEEE.
33. Potdevin F, Gillet C, Barbier F, Coello Y, Moretto P, editors. The study of Asymmetry in Able-bodied Gait with the concept of Propulsion and Brake. 9th Symposium on 3D Analysis of Human Movement, Valenciennes, France.۲۰۰۶ ;
34. Schaarschmidt M, Lipfert SW, Meier-Gratz C, Scholle HC, Seyfarth A. Functional gait asymmetry of unilateral transfemoral amputees. Human Movement Science. 2012;31(4):907-17.
35. Rice J, Seeley MK. An investigation of lower-extremity functional asymmetry for non-preferred able-bodied walking speeds. International Journal of Exercise Science. 2010;3(4):182-8.
36. Seeley MK, Umberger BR, Shapiro R. A test of the functional asymmetry hypothesis in walking. Gait and Posture. 2008;28(1):24-8.
37. Sadeghi H, Allard P, Duhaime M. Contributions of lower-limb muscle power in gait of people without impairments. Physical Therapy. 2000;80(12):1188-96.
38. McCrory JL, White SC, Lifeso RM. Vertical ground reaction forces: objective measures of gait following hip arthroplasty. Gait and Posture. 2001;14(2):104-9.

www.SID.ir

Archive of SID

39. Donker SF, Beek PJ. Interlimb coordination in prosthetic walking: Effects of asymmetry and walking velocity. Acta Psychologica. 2002;110:265-88.
40. Burkett B, Smeathers J, Barker T. Walking and running inter-limb asymmetry for Paralympic trans-femoral amputees, a biomechanical analysis. Prosthetics and Orthotics International. 2003;27(1):36-47.
41. Rodgers M, Forrester L, Mizelle C, Harris-Love ML, editors. Effects of gait velocity on COP symmetry measures in individuals with stroke. 28th annual meeting of the American Society of Biomechanics; 2004.
42. Kramers-de Quervain IA, Müller R, Stacoff A, Grob D, Stüssi E. Gait analysis in patients with idiopathic scoliosis. European Spine Journal. 2004.۵۶-۴۴۹:(۵)۱۳;
43. Plotnik M, Giladi N, Hausdorff JM. A new measure for quantifying the bilateral coordination of human gait: effects of aging and Parkinson's disease. Experimental Brain Research. 2007;181:561–70.
44. Hodt-Billington C, Helbostad JL, Moe-Nilssen R. Should trunk movement or footfall parameters quantify gait asymmetry in chronic stroke patients? Gait and Posture. 2008;27(4):552-8.
45. Senden R, Grimm B, Heyligers IC, Savelberg HHCM, Meijer K. Acceleration-based gait test for healthy subjects :reliability and reference data. Gait and Posture. 2009;30(2):192-6.
46. Patterson KK, Gage WH, Brooks D, Black SE, McIlroy WE. Evaluation of gait symmetry after stroke: a comparison of current methods and recommendations for standardization. Gait and Posture. 2010;31(2):241-6.
47. Bradley CE, Wutzke CJ, Zinder S, Lewek MD. Spatiotemporal gait asymmetry is related to balance/fall risk in individuals with chronic stroke. American Society of Biomechanics; Gainesville2012.
48. Chester VL, Calhoun M. Gait symmetry in children with autism. Autism Research and Treatment. 2012;2012:Article ID 576478.
49. Winiarski S, Czamara A. Evaluation of gait kinematics and symmetry during the first two stages of physiotherapy after anterior cruciate ligament reconstruction. Acta of Bioengineering and Biomechanics. 2012;14(2):91-100.
50. Mahon CE, Farris DJ, Sawicki GS, Lewek MD. Individual limb mechanical analysis of gait following stroke. Journal of Biomechanics. In press.
51. Hendrickson J, Patterson KK, Inness EL, McIlroy WE, Mansfield A. Relationship between asymmetry of quiet standing balance control and walking post-stroke. Gait and posture. 2014;39(1):177-81.
52. Shorter KA, Polk JD, Rosengren KS, Hsiao-Wecksler ET. A new approach to detecting asymmetries in gait . Clinical Biomechanics. 2008;23(4):459-67.
53. Agrawal V, Gailey R, O'Toole C, Gaunaurd I, Dowell T. Symmetry in external work (SEW): a novel method of quantifying gait differences between prosthetic feet. Prosthetics and Orthotics International. 2009;33(2-۱۴۸:(۵۶.
54. Darras N, Pasparakis D, Tziomaki M, Papavasiliou A, Dimitriadis D, Pentarakis M, et al. Gait asymmetry graphs and indexes. Gait and Posture. 2009;30S:S152-S3.
55. Winiarski S. Are there asymmetry indices reliable indicator of gait performance? Gait and Posture. 2009;30S:S143-S4.
56. Robinson RO, Herzog W, Nigg BM. Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics. 1987;10(4):172-6.
57. Wu J, Wu B. The Novel Quantitative Technique for Assessment of Gait Symmetry Using Advanced Statistical Learning Algorithm. BioMed Research International. 2014;2014:528971.
58. Yang L, Dyer PS, Carson RJ, Webster JB, Foreman KB, Bamberg SJM. Utilization of a lower extremity ambulatory feedback system to reduce gait asymmetry in transtibial amputation gait. Gait & posture. 2012;36(3):631-4.
59. Manal K, Stanhope SJ. A novel method for displaying gait and clinical movement analysis data. Gait and posture۶-۲۲۲:(۲)۲۰;۲۰۰۴ .
60. Crenshaw SJ, Richards JG. A method for analyzing joint symmetry and normalcy, with an application to analyzing gait. Gait and Posture. 2006;24(4):515-21.
61. Liao F, Wang J, He P. Multi-resolution entropy analysis of gait symmetry in neurological degenerative diseases and amyotrophic lateral sclerosis. Medical Engineering & Physics. 2008;30(3):299-310.
62. Kaufman KR, Frittoli S, Frigo CA. Gait asymmetry of transfemoral amputees using mechanical and microprocessor-controlled prosthetic knees. Clinical Biomechanics. 2012;27(5):460-5.
63. Winter DA, Yack HJ. EMG profiles during normal human walking: stride-to-stride and inter-subject variability. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. 1987;67(5):402-11.

www.SID.ir

Archive of SID

64. Arsenault AB, Winter DA, Marteniuk RG. Bilateralism of EMG profiles in human locomotion. American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation. 1986;65(1):1-16.
65. Haddad JM, van Emmerik RE, Whittlesey SN, Hamill J. Adaptations in interlimb and intralimb coordination to asymmetrical loading in human walking. Gait & posture. 2006;23(4):429-34.
66. Gouwanda D, Senanayake SA. Identifying gait asymmetry using gyroscopes - a cross-correlation and normalized symmetry index approach. Journal of Biomechanics. 2011;44(5):972ـ
67. Ganguli S, Mukherji P, Bose KS. Gait evaluation of unilateral below-knee amputees fitted with patellar-tendon-bearing prostheses. Journal of Indian Medicine Association. 1974;63(8):256-9.
68. Vagenas G, Hoshizaki B, Vagenas G, & Hoshizaki, B. (2010 .(A multivariable analysis of lower extremity kinematic asymmetry in running. JAB, 8(1). A multivariable analysis of lower extremity kinematic asymmetry in running. Int J Sports Biomech. 1992;8(1):11-29.
69. Marinakis GN. Interlimb symmetry of traumatic unilateral transtibial amputees wearing two different prosthetic feet in the early rehabilitation stage. Journal of rehabilitation research and development. 2004;41(4):581-90.
70. Sant'Anna A, Salarian A, Wickstrom N. A new measure of movement symmetry in early parkinson's disease patients using symbolic processing of inertial sensor data. Biomedical Engineering, IEEE Transactions on. 2011;58(7):2127-35.
71. Zifchock RA, Davis I, Higginson J, Royer T. The symmetry angle: a novel, robust method of quantifying asymmetry. Gait and Posture. 2008;27(4):622-7.
72. Zifchock RA, Davis I. Non-consecutive versus consecutive footstrikes as an equivalent method of assessing gait asymmetry. Journal of Biomechanics. 2008;41(1):226-30.
73. Lugade V, Wu A, Jewett B, Collis D, Chou LS. Gait asymmetry following an anterior and anterolateral approach to total hip arthroplasty. Clinical Biomechanics. 2010;25(7):675-80.
74. Nigg S, Vienneau J, Maurer C, Nigg BM. Development of a symmetry index using discrete variables. Gait and Posture. 2013;38(1):115-9.

www.SID.ir