

# بررسی تعادل ایستایی در بیماران مبتلا به اختلالات عصبی و اسکلتی عضلانی با استفاده از رویکردهای خطی و غیر خطی

مینا میراحمدی\*، محمد کریمی<sup>۱</sup>، جاوید مستمند<sup>۱</sup>

## مقاله پژوهشی

### چکیده

**مقدمه:** تعادل (Stability) عبارتست از توانایی فرد در حفظ حالت ایستاده که از طریق استراتژی‌های ترکیبی سیستم‌های اسکلتی عضلانی مختلف تسهیل می‌شود. به منظور ارزیابی توانایی فرد در حفظ ثبات ایستادن روش‌های مختلفی از جمله روش خطی و روش غیرخطی به کار می‌رود. مشخص نگردیده است که کدام روش در نشان دادن ثبات وضعیت (Posture) افراد با اختلالات عصبی و اسکلتی عضلانی مختلف قابلیت بیشتری دارد. از این رو هدف از مطالعه حاضر بررسی ثبات افراد مبتلا به ضایعات عصبی و اسکلتی عضلانی مختلف با رویکرد خطی و غیرخطی است.

**مواد و روش‌ها:** چهار گروه از افراد سالم، دارای اختلال صافی کف پا، پارکینسون و پرتس در این مطالعه وارد شدند. جهت ارزیابی ثبات از دستگاه سکوی اندازه‌گیری نیروی کیستلر استفاده شد. تفاوت پارامترهای خطی (دامنه، سرعت و طول مسیر مرکز فشار) و غیرخطی (آنتروپی تقریبی مرکز فشار) با تست two sample t test آزمون گردید.

**یافته‌ها:** میانگین سرعت مرکز فشار در جهت داخلی/خارجی در افراد دارای صافی کف پا و مبتلایان پرتس به ترتیب  $۱۶۲۱/۵ \pm ۴۰۵/۶$  و  $۸۷۸/۴ \pm ۱۹۵$  میلی‌متر بر دقیقه بود ( $P \leq 0/05$ ). میانگین آنتروپی تقریبی در جهت قدامی/خلفی در افراد دارای صافی کف پا و مبتلایان پرتس به ترتیب  $۰/۹۴ \pm ۰/۱۶$  و  $۰/۹۹ \pm ۰/۲۱$  بود در حالی که این پارامتر در بیماران پارکینسون  $۰/۴۵ \pm ۰/۰۶$  بود. تفاوت میانگین آنتروپی تقریبی در جهت قدامی/خلفی گروه سالم با تمام گروه‌ها معنی‌دار بود ( $P \leq 0/05$ ).

**نتیجه‌گیری:** به نظر می‌رسد رویکرد غیرخطی در نشان دادن تفاوت ثبات افراد با اختلالات عصبی و اسکلتی عضلانی مختلف حساسیت بیشتری دارد. البته توصیه می‌شود در صورت انتخاب روش خطی جهت آنالیز اطلاعات، بجای تنها یک پارامتر از چند پارامتر استفاده گردد. افزایش یا کاهش آنتروپی تقریبی وابسته به نوع ضایعه موقعیت‌های بی‌ثباتی را گزارش می‌کند.

**کلیدواژه‌ها:** ثبات، آنالیز خطی، غیرخطی، پارکینسون، پرتس، صافی کف پا

**ارجاع:** میراحمدی مینا، کریمی محمد، مستمند جاوید. بررسی تعادل ایستایی در بیماران مبتلا به اختلالات عصبی و اسکلتی عضلانی با استفاده از رویکردهای خطی و غیر خطی. پژوهش در علوم توانبخشی ۱۳۹۲؛ ۹(۶): ۹۶۹-۹۷۷.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۱۲

\* مرکز تحقیقات اسکلتی عضلانی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسؤل)

Email: Mina.Mirahmadi@gmail.com

۱- مرکز تحقیقات اسکلتی عضلانی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

## مقدمه

ثبات عبارتست از حفظ وضعیت ایستاده که به صورت موقعیت مرکز فشار (Center of Pressure) نسبت به سطح اتکا تعریف می‌شود (۱). به منظور حفظ ثبات در حالت ایستاده روی دو پا استراتژی‌های مختلفی چون استراتژی میچ پا، زانو و هیپ بکار می‌رود (۱). یکی از سیستم‌هایی که به صورت متداول در ارزیابی ثبات به کار می‌رود دستگاه سکوی اندازه‌گیری نیرو است، ابزاری که میانگین مرکز فشار را با صحت و دقت گزارش می‌کند. در تحقیقات ادعا شده است که مرکز فشار تقریب مناسبی از نوسانات مرکز ثقل (Center of Gravity) می‌باشد (۳و۲). دو رویکرد کلی برای آنالیز ثبات ایستادن بر اساس اطلاعات نوسان مرکز فشار خروجی از دستگاه سکوی اندازه‌گیری نیرو وجود دارد که عبارتند از آنالیز خطی و غیرخطی. در آنالیز خطی پارامترهایی مانند دامنه نوسانات، طول مسیر و سرعت مرکز فشار بیانگر میزان حرکت مرکز فشار خواهند بود (کمیت حرکت) (۵و۴)، در حالی که این رویکرد در مورد نظم و چگونگی حرکت مرکز فشار (کیفیت حرکت) اطلاعاتی در اختیار ما نمی‌گذارد. در مقابل، در آنالیز غیرخطی پارامترهایی چون آنترپی تقریبی (Approximate Entropy) و لیاپونف اکسپوننت (Lyapunov Exponent) بیش از آن که به بزرگی کل نوسانات حساس باشند به الگوی اطلاعات حساسیت‌پذیرند (۶و۵). از آنجایی که این رویکرد روشی سودمند در بررسی کیفیت الگوی نوسانات است پتانسیل بالایی در ارزیابی کلینیکی کنترل حرکت نرمال و پاتولوژیک دارا می‌باشد. آنترپی یک مفهوم آماری پایه‌ای است که در تئوری اطلاعات به عنوان شاخص سنجش تغییرپذیری (Variability) و عدم قطعیت (Uncertainly) مطرح می‌شود (۷، ۸). همچنین آنترپی تقریبی روش تعیین پیچیدگی (Complexity) به منظور بررسی نظم سری‌های زمانی است (۷، ۸).

با وجود اینکه بیشتر آنالیزهای ثبات ایستادن با استفاده از رویکرد خطی انجام شده است در این رویکرد مشکلاتی وجود

دارد که لازم است لحاظ شوند (۶). اولین مسئله این است که ثبات وضعیت در این رویکرد بدون لحاظ کردن اغتشاشات اندازه‌گیری می‌شود در حالی که ثبات انسان تحت تأثیر اغتشاشات داخلی و خارجی است که به واسطه فعالیت عضلانی، ضربان قلب، تنفس و فعالیت‌های ذهنی اعمال می‌شوند. از آنجایی که کنترل مکانیسم این اغتشاشات دشوار است رویکرد خطی روش مناسبی جهت اندازه‌گیری ثبات ایستادن نیست (۶، ۹، ۱۰). دومین مشکل در ارتباط با خصوصیات نوسان مرکز فشار است. نهایتاً مطرح می‌شود که بررسی ثبات وضعیت بر اساس نوسان مرکز فشار به اندازه‌ای حساسیت ندارد که بتواند تغییرات پاتولوژیک را نشان دهد. از این رو نتیجه‌گیری شده است که رویکرد غیرخطی روشی بهتر و حساس‌تر در اندازه‌گیری ثبات ایستادن است. در روش خطی افزایش مقادیر پارامترهای مرکز فشار به عنوان افزایش بی‌ثباتی قلمداد می‌شود و کاهش آن بیان‌گر کاهش بی‌ثباتی است. اما در آنالیز غیرخطی تغییر پارامترهای مرکز فشار بیان‌گر تغییرات تعامل سیستم عصبی عضلانی با محیط پیرامون، تغییر نظم رفتاری و پیچیدگی سیستم تعادلی است که لزوماً افزایش مقادیر در آن به معنای افزایش یا کاهش بی‌ثباتی نخواهد بود چرا که در این رویکرد سیگنال مرکز فشار یک سیگنال غیرایستا می‌باشد که رفتار بی‌نظمی دارد (۴).

آنترپی تقریبی یکی از پارامترهایی است که در آنالیز غیرخطی به کار می‌رود و توسط Pincus به عنوان ابزار سنجش پیچیدگی اطلاعات سری‌های زمانی مطرح شد (۷، ۸). این پارامتر درجه جدایی یک سیستم از محیط پیرامونی آن را نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای که اخیراً صورت گرفته مطرح شده است که مسیر مرکز فشار در بیماران مبتلا به سکتة مغزی در مقایسه با افراد سالم منظم‌تر می‌شود و بدنبال درمان نظم کمتری می‌یابد (۱۱). نکته مهم این است که بدنبال افزایش آنترپی تقریبی در ارتباط با بهبود تعادل است یا خیر. فرضیه‌ای وجود دارد که می‌گوید آنترپی بیشتر پیچیدگی کمتر یک سیستم را نشان می‌دهد (۱۱). بعضی

شرکت کنندگان در خصوص روند تست‌ها و ابزارها، آموزش داده شدند و وزن و قد آن‌ها ثبت گردید. در تست تعادل از افراد خواسته شد به مدت ۶۰ ثانیه روی سکوی اندازه‌گیری نیرو بایستند. هر تست ۳ مرتبه تکرار شد و اطلاعات با فرکانس ۱۲۰ هرتز ثبت گردید.

در این مطالعه آنالیز خطی و غیرخطی به کار رفته است. در رویکرد خطی آنالیز پارامترهای طول مسیر، دامنه و سرعت مرکز فشار در دو جهت قدامی/خلفی و داخلی/خارجی از طریق فرمول‌های زیر انجام شد (۱۳، ۱۴).

$$\text{COPEAP}(\text{mm}) = X_{\max} - X_{\min}$$

$$\text{COPEML}(\text{mm}) = y_{\max} - y_{\min}$$

$$\text{PLAP}(\text{mm}) = \left( \sum^{n-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2} \right)$$

$$\text{PLML}(\text{mm}) = \left( \sum^{n-1} \sqrt{(y_{i+1} - y_i)^2} \right)$$

$$\text{VAP}(\text{mm}/\text{min}) = \frac{\left( \sum^{n-1} \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2} \right)}{t}$$

$$\text{VML}(\text{mm}/\text{min}) = \frac{\left( \sum^{n-1} \sqrt{(y_{i+1} - y_i)^2} \right)}{t}$$

به VML و VAP، PLML، PLAP، COPEML ترتیب عبارتند از دامنه مرکز فشار در جهت قدامی/خلفی، دامنه مرکز فشار در جهت داخلی/خارجی، طول مسیر مرکز فشار در جهت قدامی/خلفی، طول مسیر مرکز فشار در جهت داخلی/خارجی، سرعت مرکز فشار در جهت قدامی/خلفی و سرعت مرکز فشار در جهت داخلی/خارجی.

در رویکرد غیرخطی پارامتر آنتروپی تقریبی مورد استفاده قرار گرفت. روش محاسباتی در محاسبه آنتروپی تقریبی روشی است که Kalman و Pincus به کار برده‌اند و در بعضی مقالات ذکر گردیده است (۷، ۸، ۱۵). در مطالعه حاضر آنتروپی تقریبی به صورت  $\text{ApEn}(m, r, n)$  تعریف شده است که  $m$

تحقیقات هم نشان داده‌اند کاهش مقادیر مشتقات مرکز فشار بجای افزایش آن می‌تواند بیان‌گر کنترل وضعی ضعیف باشد (۶). از آنجا که در بررسی تعادل ایستادن افراد سالم و بیماران مبتلا به ضایعات عصبی و اسکلتی عضلانی مختلف با استفاده از رویکردهای خطی و غیرخطی شواهد کافی وجود ندارد و مشخص نگردیده است که کدام رویکرد قابلیت بیشتری در نشان دادن ثبات وضعی دارد این مطالعه در پی بررسی تعادل مبتلایان به ضایعات عصبی و اسکلتی عضلانی مختلف از طریق هر دو روش می‌باشد. دیگر هدف مطالعه حاضر تعیین فرضیه‌ای (افزایش یا کاهش آنتروپی تقریبی) است که اختلال تعادل ایستادن را نشان می‌دهد.

### مواد و روش‌ها

از آنجا که هدف اصلی مطالعه حاضر بررسی حساسیت دو روش خطی و غیر خطی در آنالیز اطلاعات مرکز فشار بوده است به گروه‌هایی از افراد نیاز داشتیم که خصوصیات متفاوتی داشته باشند تا بتوانیم کارآمدی ابزار خود (روش خطی و غیر خطی) را در شرایط مختلف تعادلی (بیماری‌های ارتوپدی و نورولوژی) بسنجیم (۱۲). لذا از بین اطلاعات تعادل ایستایی موجود در مجموعه اطلاعاتی خود، از اطلاعات چهار گروه شامل افراد سالم (مردان)، مبتلایان به پرتس، صافی کف پا و پارکینسون در این مطالعه استفاده کردیم. جدول ۱ خصوصیات افراد شرکت‌کننده در مطالعه را نشان می‌دهد. معیارهای ورود به این طرح پژوهشی عبارتند از: عدم سابقه بیماری ارتوپدی یا عصبی دیگر (غیر از بیماری مورد نظر برای هر گروه)، عدم مشکلات روحی روانی و ذهنی، عدم اختلال بینایی یا شنوایی اصلاح نشده، عدم استفاده از وسیله کمکی حین ایستادن بر سکوی نیرو. لازم به ذکر است که حین ورود افراد به مطالعه معیاری در ارتباط با قد، وزن و سن آن‌ها لحاظ نگردید. تمامی شرکت‌کنندگان در پژوهش حاضر قبل از انجام تست‌ها فرم رضایت‌نامه را ملاحظه و امضا کردند. کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی اصفهان از نظر اخلاقی این طرح را تأیید کرد.

$$ApEp(m, r, n) = \Phi^m - \Phi^{m+1}$$

توزیع نرمال داده‌ها از طریق تست Shapiro- Wilk و در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ بررسی شد. از آنجا که پارامترها توزیع نرمال داشتند در آنالیز نهایی از تست پارامتریک استفاده گردید.

بعد جاسازی،  $\Gamma$  تیرانس و  $n$  نقاط اطلاعاتی ورودی است و فرمول محاسباتی به صورت زیر است:

$$\Phi^m = \frac{1}{N - m + 1} \sum_{i=1}^{N-m+1} \log C_i^m$$

$$\Phi^{m+1} = \frac{1}{N - m} \sum_{i=1}^{N-m} \log C_i$$

وزن	قد	سن	تعداد	شرکت‌کنندگان
۶۱±۱۲/۵	۱/۷±۰/۱۵	۳۵±۱۲	۲۵	گروه سالم
۶۰±۵/۹	۱/۶۸±۰/۲	۵۰±۵	۱۰	گروه مبتلا به پارکینسون
۵۸±۲/۵	۱/۶۵±۰/۱۲	۳۰±۳	۱۵	گروه مبتلا به صافی کف پا
۳۴±۶/۲	۱/۴۵±۰/۱۵	۱۱/۵±۳	۱۰	گروه مبتلا به پرتس

صافی کف پا و پرتس معنی‌دار است درحالی‌که ثبات بیماران پارکینسون مانند گروه سالم است. پارامتر غیرخطی که در پژوهش حاضر محاسبه گردید آنتروپی تقریبی بود. میانگین این پارامتر در جهت داخلی/خارجی در افراد سالم، مبتلایان به پرتس، پارکینسون و صافی کف پا به ترتیب  $۰/۵۲±۰/۱۳$ ،  $۱/۱۴±۰/۲۲$ ،  $۰/۴۴±۰/۰۸$  و  $۱/۱۲±۰/۱۴$  بود. بر اساس اطلاعات جدول ۲ تمامی گروه‌ها در مقایسه با گروه سالم در جهت داخلی/خارجی بی‌ثبات بودند ( $P \leq 0/05$ ). میانگین آنتروپی تقریبی در جهت قدامی/خلفی در افراد دارای صافی کف پا و مبتلایان پرتس به ترتیب  $۰/۹۴±۰/۱۶$  و  $۰/۹۹±۰/۲۱$  بود درحالی‌که این پارامتر در بیماران پارکینسون  $۰/۴۵±۰/۰۶$  بود. تفاوت میانگین آنتروپی تقریبی گروه سالم و سایر گروه‌ها معنی‌دار بود ( $P \leq 0/05$ ، جدول ۲).

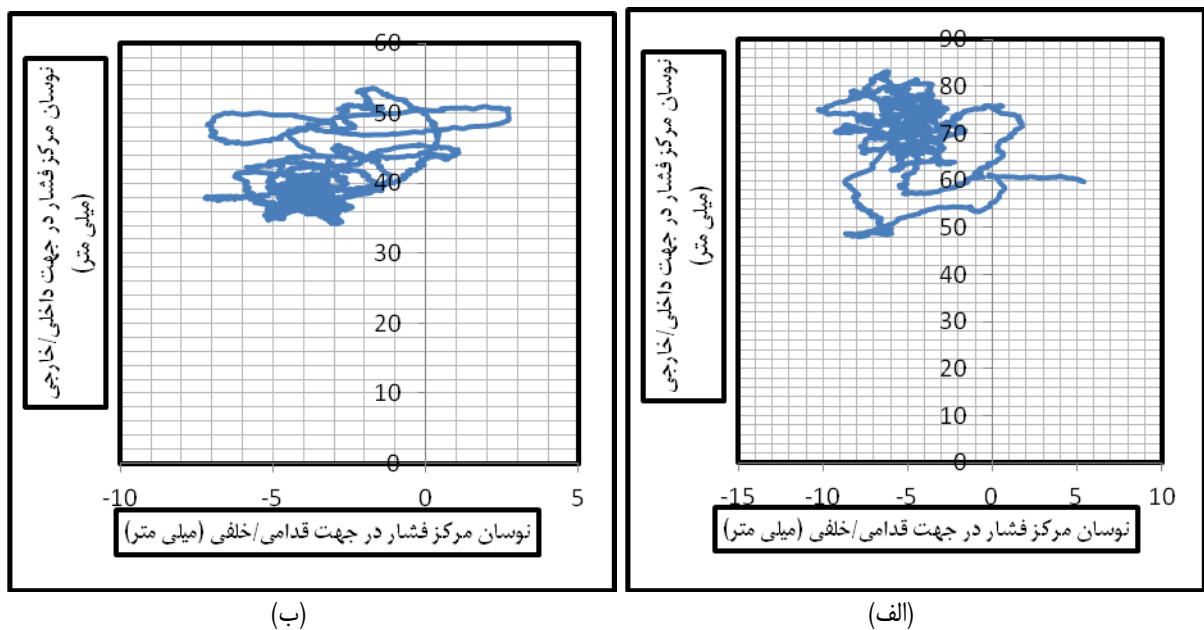
### یافته‌ها

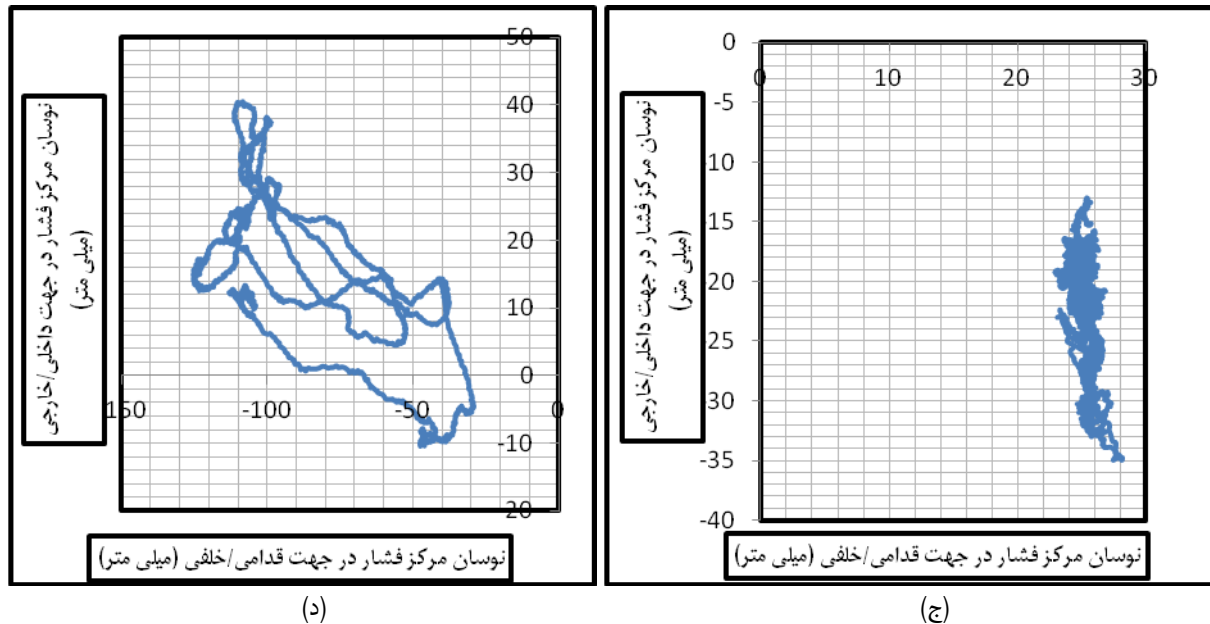
میانگین دامنه مرکز فشار در جهت قدامی/خلفی افراد سالم، مبتلایان به صافی کف پا، پرتس و پارکینسون به ترتیب  $۲۰/۹۷±۵/۵۵$  و  $۱۵/۵±۳/۰۲$ ،  $۲۶/۱۶±۶/۴$ ،  $۲۱/۲±۸/۴$  میلی‌متر بود. تفاوت میانگین دامنه مرکز فشار در جهت قدامی/خلفی بین افراد سالم، مبتلایان به صافی کف پا و پرتس معنی‌دار بود ( $P \leq 0/05$ ) ولی تفاوت معنی‌داری بین افراد سالم و بیماران پارکینسون وجود نداشت. میانگین دامنه مرکز فشار در جهت داخلی/خارجی در افراد سالم  $۱۴/۵±۷/۵$  میلی‌متر، در بیماران پارکینسون  $۱۰/۰۱±۳/۸۷$  میلی‌متر، در افراد دارای صافی کف پا  $۱۳/۲۱±۴/۳$  میلی‌متر و در بیماران پرتس  $۳۷/۲±۷/۹$  میلی‌متر بود. تفاوت ثبات گروه‌های مورد مطالعه بر اساس میانگین دامنه مرکز فشار در جهت داخلی/خارجی معنی‌دار نبود. طول مسیر مرکز فشار در جهت قدامی/خلفی و داخلی/خارجی پارامترهای دیگری بودند که در این مطالعه استفاده گردیدند. جدول ۲، میانگین طول مسیر و سرعت مرکز فشار در ۴ گروه شرکت‌کننده در این مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود بر اساس پارامترهای خطی، تفاوت ثبات افراد سالم، افراد دارای

جدول ۲: میانگین مقادیر متغیرهای ثبات و p-value مربوط به تفاوت میانگین‌ها در گروه‌های شرکت‌کننده در این مطالعه

شرکت‌کنندگان	آنژیوبی تقریبی داخلی/خارجی	آنژیوبی تقریبی قدامی/خلفی	سرعت مرکز فشار داخلی/خارجی (میلی‌متر/دقیقه)	سرعت مرکز فشار قدامی/خلفی (میلی‌متر/دقیقه)	طول مسیر مرکز فشار داخلی/خارجی (میلی‌متر)	طول مسیر مرکز فشار قدامی/خلفی (میلی‌متر)	دامنه مرکز فشار داخلی/خارجی (میلی‌متر)	دامنه مرکز فشار قدامی/خلفی (میلی‌متر)
گروه سالم	۰/۵۲±۰/۱۳	۰/۵۵±۰/۱	۵۰۴/۷۵±۱۰۰/۴	۱۶±۱۵۰/۱۸ ۴۹۱	۲۵۲/۳۷۵±۵۰/۲	۲۰۸/۷۸±۱۲۰/۵	۱۴/۵±۷/۵	۲۱/۲±۸/۴
گروه مبتلا به صافی کف پا	۱/۱۲±۰/۱۴	۰/۹۴±۰/۱۶	۱۶۲۱/۵±۴۰۵/۶	۱۱۱۱±۲۷۷/۱۵	۸۱۰/۷۵±۲۰۲/۸	۵۵۵/۵±۱۳۸/۵	۱۳/۲۱±۴/۳	۲۶/۱۶±۶/۴
P-value	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۲	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۰	۰/۱۵۷	*۰/۰۳۴
گروه سالم	۰/۵۲±۰/۱۳	۰/۵۵±۰/۱	۵۰۴/۷۵±۱۰۰/۴	۴۹۱/۱۶±۱۵۰/۱۸	۲۵۲/۳۷۵±۵۰/۲	۲۰۸/۷۸±۱۲۰/۵	۱۴/۵±۷/۵	۲۱/۲±۸/۴
گروه مبتلا به پرتس	۱/۱۴±۰/۲۲	۰/۹۹±۰/۲۱	۸۷۸/۴±۱۹۵	۹۱۱/۱±۹۶/۷۵	۲۹۲/۸±۶۴/۹	۳۰۳/۷±۳۲/۲۵	۳۷/۲±۷/۹	۱۵/۵±۳/۰۲
P-value	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۰	*۰/۰۴۰	۰/۰۹۰	*۰/۰۴۰	۰/۰۹۰	۰/۸۸۰	*۰/۰۵۰
گروه سالم	۰/۵۲±۰/۱۳	۰/۵۵±۰/۱	۵۰۴/۷۵±۱۰۰/۴	۴۹۱/۱۶±۱۵۰/۱۸	۲۵۲/۳۷۵±۵۰/۲	۲۰۸/۷۸±۱۲۰/۵	۱۴/۵±۷/۵	۲۱/۲±۸/۴
گروه مبتلا به پارکینسون	۰/۴۴±۰/۰۸	۰/۴۵±۰/۰۶	۸۵۸/۲۹±۱۱۴/۸۸	۸۳۳/۳۳±۱۰۵/۱۸	۴۲۹/۱۷±۵۷/۳۸	۴۱۶/۶۶±۵۲/۵۹	۱۰/۰۱±۳/۸۷	۲۰/۹۷±۵/۵۵
P-value	*۰/۰۰۰	*۰/۰۰۰	۰/۷۰۰	۰/۱۵۰	۰/۷۰۰	۰/۱۵۰	۰/۱۸۷	۰/۳۳۰

\* مقادیر  $p \leq 0.05$  معنادار در نظر گرفته شده است





شکل ۱. دامنه مرکز فشار در یک فرد سالم (الف)، در یک فرد مبتلا به صافی کف پا (ب)، در یک فرد مبتلا به پرتس (ج)، در یک فرد مبتلا به پارکینسون (د).

افراد سالم متفاوت است. Hertel و همکارانش در تحقیقی به بررسی تفاوت کنترل وضعی در حالت ایستاده تک پا روی افرادی با ضایعات مختلف پا پرداختند. آن‌ها دریافتند که پارامتر خطی مرکز فشار (دامنه نوسان) در افراد دارای قوس بیش از حد پا به صورت معنی‌داری بیشتر از افراد دارای صافی کف پا و افراد سالم است (۱۶)، در حالی که Cote و همکارانش تفاوت معنی‌داری بین نوسان پاسچر و تعادل ایستایی افراد دارای صافی کف پا و افراد دارای قوس بیش از حد پا نسبت به افراد سالم گزارش ندادند. در مطالعه Cote مشابه پژوهش Hertel تست‌های استاتیک در حالت ایستاده تک پا انجام شد و جهت آنالیز اطلاعات از پارامتر غیرخطی استفاده نگردید، همچنین مدت زمان هر تست ۱۵ ثانیه بود (۱۷). در افراد دارای صافی کف پا راستای مفصل میچ پا به علت چرخش تالوس یا کالکانئووالگوم تغییر می‌کند و کل ساختار را در یک موقعیت بی‌ثبات قرار می‌دهد (۱۸-۲۰). همچنین به علت استرس بیش از حد اعمال شده بر دوک عضلانی و ساختارهای تاندونی استخوانی، حس عمقی و کینستزی عضلات پیرامون مفصل کاهش می‌یابد (۲۰).

### بحث

ثبات ایستادن طی یک فرایند پیچیده به دست می‌آید و نیازمند فعالیت هماهنگ شده اجزاء حسی و حرکتی چندگانه و حرکات هماهنگ مفاصل میچ پا، زانو و هیپ است که به واسطه عضلات پیرامون این مفاصل تأمین می‌شود (۱). ثبات ایستادن تحت تأثیر اختلالات اسکلتی عضلانی و عصبی مختلف قرار می‌گیرد. روش‌های مختلفی برای ارزیابی ثبات ایستادن وجود دارد که شامل روش خطی و غیرخطی می‌باشد. با وجود اینکه تحقیقاتی در بررسی ثبات ایستادن با استفاده از روش غیرخطی انجام شده است هنوز تناقضاتی وجود دارد که آیا افزایش و یا کاهش پارامترهای این رویکرد نشان‌دهنده بی‌ثباتی است (۶). از این رو هدف از تحقیق حاضر بررسی و یافتن روشی از آنالیز ثبات است که بتواند اثر اختلالات مختلف بر ثبات ایستادن را مشخص سازد. یک گروه از افرادی که در این مطالعه شرکت کردند مبتلایان به صافی کف پا بودند. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود تفاوت معنی‌داری بین ثبات این گروه و گروه سالم وجود دارد. همچنین ثبات این گروه بر اساس پارامتر آنتروپی تقریبی با

فشار و شدت بیماری پارکینسون به دست آمد. در مقابل Chastan تفاوت معنی‌داری بین میانگین طول مسیر مرکز فشار مبتلایان پارکینسون و افراد سالم گزارش نداد (۲۴). در مطالعه حاضر میانگین آنتروپی تقریبی بیماران پارکینسون در مقایسه با افراد سالم در هر دو جهت قدامی/خلفی و داخلی/خارجی کمتر بود، چیزی که با سایر تحقیقات هم‌خوانی نداشت. قابل ذکر است که ثبات این گروه از بیماران به زمان انجام تست (فاز ON یا OFF) و همچنین شدت بیماری بستگی دارد (۲۲-۲۴). در مطالعه حاضر شدت بیماری پارکینسون بر اساس مقیاس Hohen/Yahr، ۱-۳ بود و تست‌ها در مرحله ON انجام شد. اگرچه افزایش میانگین پارامترهای خطی بیانگر شرایط بی‌ثباتی است، در مورد پارامترهای غیرخطی افزایش یا کاهش مقادیر نسبت به گروه سالم می‌تواند به عنوان علامت بی‌ثباتی قلمداد شود.

### نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که هر دو رویکرد خطی و غیرخطی در نشان دادن ثبات ایستادن دارای حساسیت هستند، هرچند به نظر می‌رسد رویکرد غیرخطی از حساسیت بیشتری برخوردار باشد. توصیه می‌گردد در موارد استفاده از رویکرد خطی به جای یک پارامتر از گروهی از پارامترها استفاده گردد. به نظر می‌رسد در بعضی از اختلالات مقادیر بیشتر آنتروپی تقریبی نمایانگر بی‌ثباتی وضعی باشد اگرچه در مورد بیماری پارکینسون این مسأله متفاوت است.

### پیشنهادها

در تحقیق حاضر محدودیت‌هایی نیز وجود داشت. از جمله این که تنها از یک پارامتر غیرخطی استفاده گردید از این رو توصیه می‌شود تحقیقات مشابهی با استفاده از تعداد پارامترهای غیرخطی بیشتر و روی افراد با ضایعات متفاوت انجام شود. یکی دیگر از محدودیت‌ها عدم همسان‌سازی گروه‌های مورد مطالعه از لحاظ بعضی مشخصات آنتروپومتریک می‌باشد، لذا پیشنهاد می‌شود مطالعات بعدی در حوزه بررسی ثبات با رویکرد مقایسه‌ای روش خطی و

در مبتلایان پرتس، ثبات بر اساس پارامتر دامنه مرکز فشار در جهت قدامی/خلفی بهتر از افراد سالم است ولی در جهت داخلی/خارجی برعکس است. نتایج سایر پارامترهای خطی نشان می‌دهد که ثبات این گروه از افراد سالم بدتر است. این افراد دارای درجه‌ای از ضعف عضلانی و اختلاف طول اندام می‌باشند به صورتی که توانایی ایستادن‌شان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۱). همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، میانگین آنتروپی تقریبی افراد سالم و مبتلایان پرتس به طور معنی‌داری متفاوت است. می‌توان نتیجه گرفت که در این گروه از افراد نمی‌توان تنها بر اساس یک پارامتر خطی مانند دامنه مرکز فشار در مورد ثبات برداشت قطعی کرد. این بدین معناست که برای نشان دادن ثبات باید گروهی از پارامترهای خطی مانند دامنه، سرعت و طول مسیر مرکز فشار به کار روند. گرچه به نظر می‌رسد که آنتروپی تقریبی در نشان دادن اثرات این ضایعه بر ثبات ایستادن حساسیت بیشتری دارد. متأسفانه تاکنون مطالعه‌ای که به بررسی تعادل ایستگاهی بیماران پرتس پرداخته باشد انجام نشده است.

گروه دیگری از افراد که در مطالعه وارد شدند بیماران مبتلا به پارکینسون بودند. اگرچه بر اساس پارامترهای خطی تفاوت معنی‌داری بین گروه سالم و گروه پارکینسون وجود نداشت ولی با توجه به پارامتر غیرخطی تفاوت معنی‌داری بین ثبات این گروه و افراد سالم دیده شد (میانگین آنتروپی تقریبی بیماران پارکینسون کمتر از افراد سالم بود). این مورد با نتایج تحقیقات دیگر متناقض است. Schmit و همکارانش در مطالعه‌ای نشان دادند که آنتروپی تقریبی در مبتلایان پارکینسون بیشتر از افراد سالم بود (۲۲). همچنین در مطالعه آن‌ها مقادیر پارامترهای خطی مرکز فشار به طور معنی‌داری در بیماران پارکینسون بیشتر از گروه کنترل بود. در تحقیق Morrison و همکارانش تعادل ایستایی ۱۲ فرد سالم و ۸ بیمار پارکینسون که از نظر سنی هم‌خوانی داشتند مورد بررسی قرار گرفت (۲۳). نتیجه تحقیق نشان داد که مقادیر بالاتر آنتروپی تقریبی بیانگر نظم کمتر مرکز فشار و ثبات کمتر است (همچنین رابطه مثبتی بین آنتروپی تقریبی مرکز

همچنین از جناب آقایان دکتر احسان کوچکی و میثم صادقی که در محاسبه و آنالیز غیرخطی اطلاعات مرکز فشار همکاری نمودند سپاسگزارند.

غیرخطی آنالیز اطلاعات، بر بیماری‌ها و ضایعاتی که در محدوده سنی مشابه شایع هستند انجام شود تا عملاً امکان همسان‌سازی قد، وزن و سن هم وجود داشته باشد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله حمایت‌های دانشگاه علوم پزشکی اصفهان را در راستای اجرای این پژوهش ارج می‌نهند.

### References

- Jacobson G.P, Newman C.W, Kartush J.M. Handbook of balance function testing. St. Louis: Mosby Year Book; 1993.
- Le Clair K, Riach C. Postural stability measures: what to measure and for how long. *Clinical Biomechanics* 1996; 11(3): 176-178.
- Murray MP, Seireg A.A, Sepic S.B. Normal postural stability and steadiness: quantitative assessment. *J Bone Joint Surg Am* 1975; 57 (4): 510-6.
- Blaszczuk JW, Klonowski W. Postural stability and fractal dynamics. *Acta Neurobiol Exp (Wars)* 2001; 61(2): 105-12.
- Deffeyes JE, Harbourne R.T, Stuberger W.A, Stergiou N. Approximate entropy used to assess sitting postural sway of infants with developmental delay. *Infant Behavior & Development* 2011; 34(1): 81-99.
- Cavanaugh JT, Guskiewicz KM, Stergiou N. A nonlinear dynamic approach for evaluating postural control: new directions for the management of sport-related cerebral concussion. *Sports Med* 2005. 35 (11): 935-50.
- Pincus SM. Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 1991; 88(6): 2297-301.
- Pincus S. Approximate entropy (ApEn) as a complexity measure. *Chaos* 1995; 5(1): 110-117.
- Myklebust JB, Prieto T, Myklebust B. Evaluation of nonlinear dynamics in postural steadiness time series. *Ann Biomed Eng* 1995; 23(6): 711-9.
- Lajoie Y, Teasdale N, Bard C, Fleury M. Attentional demands for static and dynamic equilibrium. *Exp Brain Res* 1993; 97(1): 139-44.
- Borg F.G, Laxaback G. Entropy of balance-some recent results. *J Neuroeng Rehabil* 2010; 7(1): 38.
- Stergiou N. Innovative Analysis of Human Movement, Analytical Tools for Human Movement Research. 1<sup>st</sup> ed. United States of America: Human Kinetics; 2004.
- Satvati B, Karimi MT, Tahmasebi Boldaji R, Pool F. Standing stability evaluation in subjects with flat foot. *J Res Rehabil Sci* 2013; 8(8): 1277-84. In Persian
- Raymakers J.A, Samson M.M, Verhaar H.J.J. The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). *Gait & Posture* 2005. 21(1): 48-58.
- Pincus S, Kalman R.E. Not all (possibly) "random" sequences are created equal. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 1997. 94(8): 3513-3518.
- Hertel J, Gay MR, Denegar CR. Differences in Postural Control During Single-Leg Stance Among Healthy Individuals With Different Foot Types. *J Athl Train* 2002; 37(2): 129-132.
- Cote KP, Brunet ME, Gansneder BM, Shultz SJ. Effects of Pronated and Supinated Foot Postures on Static and Dynamic Postural Stability. *J Athl Train* 2005; 40(1): 41-46.
- Preston ET. Flat foot deformity. *Am Fam Physician* 1974; 9(2): 143-7.
- Akbari M, Mohammadi M, Saeedi S. Effects of rigid and soft foot orthoses on dynamic balance in females with flatfoot. *Journals of Tehran University of Medical Sciences* 2007; 21(2): 91-97.
- Waller JF. Physiology of the foot and the biomechanics of the flexible flat foot. *Ona J* 1978; 5(4): 101-3.
- Karimi M, Esrafilian A. Evaluation of the stability of normal subjects and patients with Perthes and spinal cord injury disorders during short and long periods of time. *Prosthet Orthot Int* 2013; 37(1): 22-9.
- Schmit JM, Riley MA, Dalvi A, Sahay A, Shear P.K, Shockley K.D, et al. Deterministic center of pressure patterns characterize postural instability in Parkinson's disease. *Exp Brain Res* 2006; 168(3): 357-67.
- Morrison S, Kerr G, Newell KM, Silburn PA. Differential time- and frequency-dependent structure of postural sway and finger tremor in Parkinson's disease. *Neurosci Lett* 2008; 443(3): 123-8.
- Chastan N, Debono B, Maltete D, Weber J. Discordance between measured postural instability and absence of clinical symptoms in Parkinson's disease patients in the early stages of the disease. *Mov Disord* 2008; 23(3): 366-72.



## Stability Analysis of Patients with Various Neurological and Musculoskeletal Disorders based on Linear and Nonlinear Approaches

Mina Mirahmadi \*, Mohammad Taghi Karimi<sup>1</sup>, Javid Mostamand<sup>1</sup>

### Original Article

#### Abstract

**Introduction:** Stability is the ability of subjects to keep their upright posture, which is enhanced by combination strategies of various musculoskeletal systems. Various methods have been used to evaluate the abilities of subjects during standing, including linear and nonlinear methods. It is not clear that which one of these two methods has more ability to represent stability of subjects with various neurological and musculoskeletal disorders. Therefore, the aim of this study was to investigate the stability of the subjects with various neurological and musculoskeletal disorders using linear and nonlinear methods.

**Materials and Methods:** Four groups of subjects including, normal subjects and subjects with three different disorders of flatfoot, Parkinson's Disease (PD), and Perthes were recruited in this study. A Kistler force plate was used to evaluate the stability of the subjects. The difference between the linear (Center of Pressure Excursion, Velocity and Path Length) and nonlinear (Approximate Entropy = ApEn) parameters was evaluated by two sample t test.

**Results:** The mean value of COP velocity of flatfoot and perthes subjects were  $1621/5 \pm 405/6$  and  $878/4 \pm 195$  mm/min in the mediolateral direction, respectively ( $P < 0/05$ ). The mean value of ApEn in the anteroposterior direction was  $0/94 \pm 0/16$  in flatfoot subjects and  $0/99 \pm 0/21$  in those with perthes. However, it was  $0/45 \pm 0/06$  in the subjects with PD. The difference between normal subjects and all other groups of participants was significant ( $P < 0/05$ ).

**Conclusion:** It seems that nonlinear method is more sensitive to represent the difference between stability of subjects with different neurological and musculoskeletal disorders. However when linear approach is selected for data analysis it is suggested to use a group of parameters instead of only one parameter. Depending on the kind of diseases, increasing and decreasing the value of Approximate Entropy represent the instability situations.

**Keywords:** Stability, linear analysis, nonlinear analysis, Parkinson's Disease, Perthes, flat foot

**Citation:** Mirahmadi M, Karimi M, Mostamand J. **Stability Analysis of Patients with Various Neurological and Musculoskeletal Disorders based on Linear and Nonlinear Approaches.** J Res Rehabil Sci 2014; 9(6):969-977.

Received date: 1/2/2013

Accept date: 23/8/2013

\* Musculoskeletal research center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran (Corresponding Author)  
Mina.Mirahmadi@gmail.com

Email:

1- Musculoskeletal research center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran