

## تأثير استخدام الأحذية ذات الكعب العالي على قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض عند الإنسان

د م زهير مرمر<sup>١</sup>

<sup>١</sup>أستاذ مساعد في قسم الهندسة الطبية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

### الملخص

إن استخدام الطرق الحديثة في تحليل مشية الإنسان هو الأسلوب العلمي الصحيح لدراسة بارامترات المشي وتحديد الانحرافات والتشوهات في مشي الإنسان، وإن قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض (GRF) هي من أهم بارامترات مشية الإنسان لأنها تتأثر بأي تغير قد يطرأ على عمل أو أداء أي جزء من أجزاء الجسم.

قام العديد من الباحثين بدراسة تأثير ارتداء الكعب العالي على بارامترات المشي، لكن فقط القليلين منهم درسوا GRFs. لذلك فإنه من الضروري البحث في هذه البارامترات لكي نستطيع تحديد آثار ارتداء الكعب العالي السلبية على صحة الفتيات بشكل علمي وكمي ودقيق. وعليه فقد تم في هذا البحث استخدام مخبر الميكانيك الحيوي في قسم الهندسة الطبية بجامعة دمشق لدراسة تأثيرات استخدام الكعب العالي على قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض. وقد تم استخدام صفيحتين للقوى من النوع البيزو كهربائي لقياس قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض مع ستة كاميرات تلفزيونية، وتم تشغيلها معا عند تردد لالتقاط المعلومات (Sampling Frequency) قدره ٢٠٠ هرتز.

أجريت التجارب على ١٤ فتاة وتم قياس (GRF) لكل فتاة عند ستة ارتفاعات مختلفة لكعب الحذاء وهي على التوالي حافي القدمين وارتفاع ٣ و ٥ و ٧ و ٩ و ١٢ سم. بينت النتائج أن ارتداء الكعب العالي يضعف قوى الدفع بسبب تقييد حركة مفصل الكاحل، ويزيد من مقاومة الجسم أثناء تقدم الجسم إلى الأمام، وإن هذه التأثيرات تزداد كلما ازداد ارتفاع كعب الحذاء.

**الكلمات المفتاحية:** الكعب العالي، GRF، انحرافات المشي، تحليل المشي، محددات المشي التحريكية، آثار الكعب العالي.



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

## Effects of High heeled shoe on the ground reaction forces (GRF) during Walking

**Dr. Zouheir Marmar<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>Associated Professor in the Department of Biomedical engineering-Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Damascus University.

### Abstract

Gait analysis is the best scientific and quantitative method for studying and determining the deviations of human gait parameters. Ground reaction forces (GRFs) between foot and ground are very important parameters in gait analysis, because any changes in the behavior of the human body segments will be reflected on the pattern and magnitudes of GRFs.

Many researchers have studied the effects of high heeled shoe on the gait parameters, but only a few of them measured and analyze GRFs. Therefore, it is very important to measure GRFs in order to determine the negative effects of high heeled shoe on women's health.

In this work the biomechanical laboratory at Damascus university was used, It has two Kistler force plates to measure the ground reaction forces (GRFs) between the foot and ground, and Six TV – Cameras to register the three dimensional motion for the whole body of the participant and they all ran at sampling frequency of 200 Hz. Fourteen girls Participated in this work, they were approximately of the same age, height and weight. The GRFs were measured for each participant in six different heel height cases: they are bare feet, 3, 5, 7, 9, 12 cm.

The results showed that wearing high heeled shoe have decreased the push off force as the motion of the ankle joint was restricted. It's also found that the resistance of the body forward movement increased with wearing high heeled shoe. These changes increased when the heel height was increased.

**Keywords:** Gait Analysis, Grfs, Gait Deviation, Kinetics Of Gait Parameters, High Heel.



**Copyright:** Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

## ١ - المقدمة

إن ارتداء الكعب العالي كان ومازال مفضلاً عند الكثيرين من النساء والرجال، لكنه أكثر انتشاراً لدى النساء حيث أنه يزيد من حسن القوام ويرفع في درجات الجمال والثقة بالنفس لديهم. ومن المعروف أن النساء بشكل عام يرتدون الكعوب العالية دون أن يعيروا أي اهتمام لتأثيراتها الجانبية، فقد تسبب آلام وتشوهات في الأقدام وفي العمود الفقري وقد بينت الأبحاث (Shang *et al.*, 2020)؛ (4, 5, 7) أنها تحدث تغيرات واضحة في معظم بارامترات المشي مثل البارامترات الحركية والتحريرية وبارامترات المسافة والزمن.

وخلال العقود القليلة السابقة قام الباحثون بكثير من الدراسات والبحوث العلمية التي تناولت البحث في التأثيرات الجانبية للكعب العالي على مشية النساء [1, 2, 4, 10]. هذه الدراسات استطاعت أن تظهر وتحلل الكثير من تأثيرات الكعب العالي على المشي، لكن معظمها لم يكن شمولياً حيث اقتصر البعض على نوع واحد من البارامترات أو كان عدد المشاركين في البحث قليلاً أو تناول فئة عمرية واحدة، والأهم من ذلك أن معظم الدراسات لم تناقش النتائج التي توصلت إليها بشكل واضح ومفصل.

لذلك كان من الضروري متابعة إجراء الأبحاث بشكل مستمر لتحديد وتحليل كافة الجوانب السلبية لارتداء الكعب العالي باستخدام أنظمة القياس الحديثة والدقيقة والتي تقوم بتسجيل وحساب كافة البارامترات لكامل الجسم أثناء المشي. ونظراً لأن قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض (GRF) لم تتل حظاً كافياً من البحوث، وأنها تعتبر من أهم بارامترات المشي التي تحدد بدقة معظم جوانب القصور والتشوهات في مشية الإنسان فقد تم في هذه

الدراسة التركيز على تأثير ارتداء الكعب العالي على (GRF).

## ٢ - الدراسات المرجعية:

في عام ٢٠٠١ قام الباحثون (Chang-Min *et. al*) بدراسة تأثير ارتداء الكعب العالي على ميكانيكية المشي عند خمسة فتيات من الشابات الأصحاء، وتم استخدام أحذية بأربعة ارتفاعات مختلفة (٠ و ٤ و ٥ و ٨ سم) وتم قياس حركة قبض وبسط الجذع إضافة إلى قياس EMG لأسفل الظهر ولعضلة الظنبوب التي تقوم بقبض القدم. بينت النتائج أن زاوية انقباض الجذع تتناقص مع ازدياد ارتفاع كعب الحذاء، وأن EMG لأسفل الظهر ولعضلة الظنبوب الأمامية قد ازداد بشكل ذا مغزى مع ازدياد ارتفاعات كعوب الحذاء. وخلصت هذه الدراسة إلى توصية بابتعاد الفتيات عن ارتداء الكعب العالي لأنها تسبب اجهادات إضافية على العضلات المدروسة. هذه التوصية لاشك أنها مفيدة لكن دراسة EMG لأي عضلة يعطينا معلومات عن نشاطها فقط، ولا يقدم أية معلومات عن حالة الجسم ككل وهذا يؤكد ضرورة قياس GRF لأنها تتأثر بحركة جميع أجزاء الجسم أثناء المشي [4].

في عام ٢٠٠٣ قام الباحثون (Esenyel *et. al.*) من جامعة تكساس في سان أنتونيو بدراسة للكشف عن أثر ارتداء الكعب العالي على مشية الإنسان. تم استخدام نظام تحليل المشي الشهير (VICON) للحصول على الإحداثيات الثلاثية لحركة أجزاء الجسم وبالتالي حساب كافة البارامترات الحركية له، كما تم استخدام صفيحة القوى نوع (AMTI) لقياس قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض وتم حساب العزوم المطبقة على مفاصل الجسم. أجريت التجارب على ١٥ فتاة عند استخدام كعب منخفض وكعب عالي لكل من الفتيات وعند سرعة سير طبيعية. بينت النتائج أن ارتداء الكعب العالي قد أدى إلى انخفاض

أوزانهم ٥٩.٨ kg وكان يطلب من المتطوعة أن تمشي دون حذاء ثم بكعوب ذات ارتفاعات ١ cm و ٥ cm و ٧ cm. بينت الدراسات أن مجال زاوية الكاحل قد تناقص وأن قوة رد فعل الأرض الشاقولية (FY) والعزم على مفصل الركبة قد ازدادا عند زيادة ارتفاع الكعب. أوصت الدراسة النساء بعدم ارتداء الأحذية ذات الكعوب التي تتجاوز ارتفاعاتها (5 cm) وذلك لتجنب التأذي وللمحافظة على الراحة أثناء المشي. هذه الدراسة اعتمدت الطريقة الشمولية في البحث لكن استخدام كميرا واحدة لا يعطي إحداثيات ثلاثية واستخدام أربعة ماركات فقط يحل جانب واحد فقط من الإنسان، والباحث عرض قوة رد الفعل الشاقولية فقط وأغفل عرض المركبتين في المستويين السهمي والجبهوي، إضافة إلى أن القوة الشاقولية التي تم عرضها كانت بوحدات غير واضحة [3].

### ٣- الأسس النظرية والجانب العملي للبحث:

#### ٣-١ الأسس النظرية:

إن أساس علم الميكانيك الحيوي وتحليل مشية الإنسان يعتمد بشكل أساسي على قوانين الميكانيك العام وبالأخص قوانين الحركة والتحرك. وإن من أهم بارامترات المشي التي تساعد في تحليل وفهم حركة الإنسان وتحديد التشوهات ودرجة العجز هي قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض (GRF). تنشأ قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض من وزن الشخص ومن قوى العطالة التي تتولد بسبب تسارع مركز ثقل الإنسان الذي يتحرك بحركة ثلاثية الأبعاد خلال المشي، وإن بعض مركبات هذه القوى يظهر أثناء المشي فقط بفعل الحركة على شكل قوى احتكاكية بين القدم والأرض. إن GRF تخضع لقانون التحريك الأساسي الذي يربط بين القوة  $F$  والكتلة  $M$  والتسارع  $a$  وفق العلاقة  $F=-M*a$  ويكون دائما اتجاه القوة بعكس اتجاه التسارع. ونظرا لأهمية GRF في تحليل المشي فقد

سرعة سير المشاركات وإلى انخفاض عزم البسط الناتج عن العضلات الباسطة لمفصل الكاحل. كذلك فإن القمة الأولى لقوة رد فعل الأرض الشاقولية FY قد ازدادت بمقدار ٥% عند ارتداء الكعب العالي (ارتفاع ٦ سم) مقارنة مع الكعب المنخفض (ارتفاع ١ سم). بالرغم من أن هذه الدراسة قد استخدمت نظام قياس دقيق ومتطور إلا أنها استخدمت صفيحة قوى واحدة، وأن الباحثين لم يقدموا ولم يناقشوا نتائج قياس (GRF) [9].

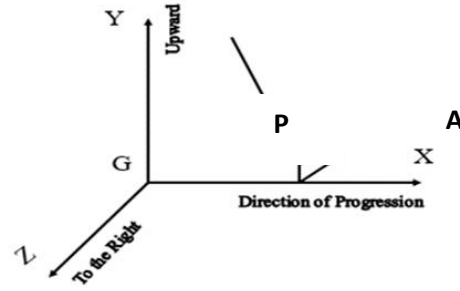
في عام (2016) درس Fath وزملاؤه تأثير الكعب العالي على بارامترات المشي. وقد شارك في الدراسة ١٢ فتاة تم اختيار كل منهم بحالتين: حافي القدمين وارتداء كعب قدره ٧ سم. تم استخدام نظام تحليل المشي العالمي (VICON) لقياس الحركة و(Tekscan Inc.) لقياس قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض. بينت النتائج أنه مع ارتداء الكعب العالي يتحقق التوازن عن طريق انخفاض السرعة وزيادة زمن التلامس الثنائي، وقد أشار الباحثون أن قوة رد الفعل قد ازدادت في بداية طور التلامس عند ارتداء الكعب العالي [10].

في عام ٢٠٢٠ قام الباحثان Hamandi S. J., & Ruken D. M بدراسة تأثير ارتداء الكعب العالي على الميكانيك الحيوي للفتيات باستخدام تحليل المشي. تم استخدام صفيحتي قوى نوع (AMTI) لقياس قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض (GRF) وكاميرا جانبية واحدة وأربعة معلمات فقط تم وضعها على كل من الورك والركبة والكاحل ومقدمة القدم وبالتالي تمت دراسة المحددات في المستوي الجانبي فقط. أجريت التجارب على خمس فتيات متطوعات شابات وسليمات ولا يوجد لديهن أمراض أو أذيات في العضلات أو تشوهات في العظام ومعظمهن معتاد على ارتداء الكعب يوميا. وكان متوسط أعمارهن حوالي ٢٢.٤ عاماً ومتوسط أطوالهن ١٦٠ cm ومتوسط

بمخبر تحليل المشي. (Gait analysis Laboratory). يتألف هذا المخبر من ستة كاميرات تلفزيونية (TV - Camera) من صناعة شركة BTS الإيطالية لقياس الحركة ثلاثية الأبعاد لأجزاء الجسم. كما يحتوي على صفيحتي قوى من النوع البيزوكهربائي صناعة شركة (Kistler Force Plate, Type:9281E) السويسرية أبعاد كل منها (60 x 40 cm) لقياس قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض. وقد تم تشغيل الكاميرات وصفائح القوى معا وبشكل متزامن بمعدل النقاط للصور (Sampling Frequency) قدره ٢٠٠ هرتز. الكاميرات وصفائح القوى موصولة إلى كمبيوتر يتحكم بتشغيلها ويحتوي على مجموعة من البرامج لاستحصال القياسات (Data Collection) وحفظ النتائج وإجراء معالجة البيانات وصولاً إلى تقارير تحليل المشي السريري. في كل زيارة للمشاركات وقيل القيام بأية عملية استحصال للبيانات كانت تتم معايرة الكاميرات ويتم التأكد من دقتها، وكانت المعايرة لا تعتبر مقبولة حتى نحصل على دقة قدرها ٠.٠٠٥ ملم.

لدى وصول المشاركة إلى المخبر كان يقدم لها شرح عن المخبر وعن أهداف التجربة وعن آلية إجراء التجربة، ويتم الإجابة على جميع تساؤلاتها بينما كانت تتناول كأساً من القهوة أو الشاي. وبعد التأكد من أنها اقتنعت تماماً بإجراء التجربة كان يتم تثبيت ثلاثة ماركات على كل قطعة من أجزاء جسمها وذلك وفقاً لبروتوكول Davis Heel العالمي. بعد ذلك يتم الطلب من المشاركة أن تمشي في المخبر والماركات مثبتة عليها لكي تعاد المشي دون أي تغيير بمسيتها، وعندها يتم إجراء التجربة بأن يتم تسجيل ثلاثة تجارب ناجحة لكل مشاركة وفي كل تجربة يسجل دورة مشي كاملة. والتجربة الناجحة هي التجربة التي تمشي فيها المشاركة بشكل طبيعي وسرعة طبيعية وتتوضع كل قدم بشكل كامل على إحدى صفائح القوى،

تم تصميم جهاز (Force Plate) بعضه يعتمد على المبدأ البيزوكهربائي والبعض الآخر يعتمد على مبدأ الانفعال، وهو خاص بقياس مركبات قوة رد الفعل في الاتجاهات الثلاث (FX, FY, FZ) حيث أن: القوة (FX) هي في المستوي السهمي أي في اتجاه تقدم سير الشخص وهي قوة أفقية وموجبة إلى الأمام، والقوة (FY) هي المركبة الشاقولية لقوة رد الفعل وموجبة إلى الأعلى، والقوة (FZ) هي قوة أفقية وتقع في المستوي الجبهي وتكون إما قوة تقريب تدفع القدم إلى الناحية الأنسية أو قوة تبعيد تدفع القدم إلى الناحية الوحشية، والشكل (١) يبين جملة الإحداثيات العالمية المتبعة في تحليل مشية الانسان وهي المعتمدة في هذا البحث.



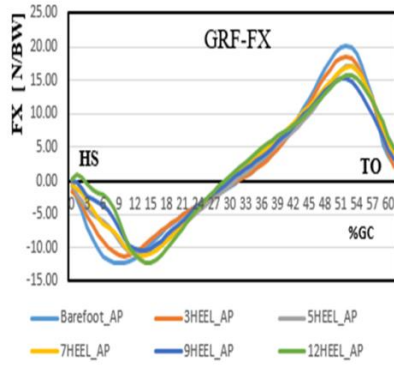
الشكل (١) جملة الإحداثيات العالمية المتبعة في تحليل مشية الإنسان

### ٣-٢ الجانب العملي للبحث:

شارك في الدراسة ١٤ فتاة من الشباب متوسط أعمارهم (22±0.97) سنة ومتوسط أطوارهم (1.6±0.04 m) وأما متوسط أوزانهم فهو (53±6.6 Kg) ومتوسط قياس القدم لديهم فهو (38±1 EUR)، كانوا جميعاً بحالة صحية جيدة ولا يظهر عليهم أية تشوهات أو معاناة في المشي.

تم استخدام مخبر الميكانيك الحيوي الموجود في قسم الهندسة الطبية بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق، ويحتوي على نظام متكامل لتحليل الحركة (motion analysis system) ومن أهم استخدامات هذا النظام هو تحليل مشية الانسان، لذلك كثيراً ما يدعى

بشكل يعيق حركة الإنسان، وسميت بقوة الدفع لأنها تؤثر بشكل يدفع الجسم إلى الأمام، لذلك سوف يتم مناقشة تغيرات هذه القوة بشكلها الفرمة والدفع بالقيمة وفي لحظة حدوث قمتها.



الشكل (٢) منحنيات تغير قوة رد الفعل بين القدم والأرض (GRF) في المستوي السهمي (FX) خلال طور التلامس وفقاً لتغير ارتفاعات (بالسم) كعب الحذاء.

نلاحظ من الشكل أنه في مرحلتي الفرمة والدفع تكون منحنيات القوة لحالتي حافي القدمين وارتفاع كعب قدره ٣ سم متشابهة كثيراً من حيث الشكل والقيمة ولحظة حدوث القمم، وهي مشابهة أيضاً لمنحنيات القوة عند الإنسان الطبيعي. ويعود ذلك إلى أن ارتفاع كعب قدره ٣ سم هو ليس كبير وهو مماثل إلى حد كبير لارتفاع الكعب العادي الذي يرتديه الناس بشكل دائم في الحياة العادية، وعليه فإنه من الممكن أن نستنتج أن لا تأثير لارتفاع كعب قدره ٣ سم على القوة FX أثناء المشي خلال طور التلامس. أما بالنسبة لباقي الارتفاعات (٥ و ٧ و ٩ و ١٢ سم) فقد ظهر عليها تغيرات واضحة وهامة خلال مرحلتي الفرمة والدفع ولجميع الحالات. ففي مرحلة الفرمة تبين أن قيمة FX العظمى قد تأخرت في الظهور وقد ازداد هذا التأخر مع زيادة ارتفاع الكعب، أي كلما ازداد ارتفاع الكعب كلما ازداد تأخر ظهور قمة هذه القوة، إضافة إلى ذلك فإن قيمة FX خلال مرحلة الفرمة تتناقص كلما ازداد ارتفاع الكعب.

ويتم فيها أيضاً تسجيل (باستخدام الكاميرات الستة) إحدائيات جميع الماركات المثبتة على الجسم ولكلا الجانبين الأيمن والأيسر دون ضياع أي مارك. تم الحصول على GRF لكل مشاركة عند ستة ارتفاعات مختلفة لكعب الحذاء (٣ و ٥ و ٧ و ٩ و ١٢ سم وحالة بدون حذاء). وقد تدرجت التجارب من الكعب الأدنى إلى الكعب الأعلى ارتفاعاً وذلك للتقليل من تأثيرات التعب لأن المشي بالكعب العالي أكثر استهلاكاً للطاقة من المشي بالكعب المنخفض، كما منحت المشاركة فترة راحة كافية بين تجارب الكعوب الخمسة.

#### ٤ - النتائج ومناقشتها:

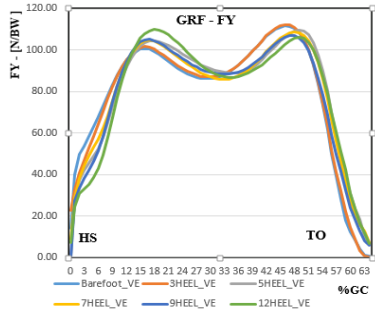
في هذه الفقرة سوف يتم عرض النتائج ومناقشتها التي تم التوصل إليها في هذا البحث، حيث تم قياس قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض (GRF) لعدد من الفتيات (١٤ فتاة) وأن نتائج كل متطوعة هي متوسط ثلاثة دورات مشي ناجحة أخذت في يوم واحد. وقد تم اختبار كل متطوعة بستة حالات مختلفة وهي: حافي القدمين، ثم عقب بارتفاع ٣ و ٥ و ٧ و ٩ و ١٢ سم على التوالي.

#### ٤-١ القوة (FX):

كما ذكرنا أعلاه القوة (FX) هي قوة أفقية تقع في المستوي السهمي وموجبة إلى الأمام أي في اتجاه تقدم سير الشخص، وهذه القوة هي إحدى مركبات قوة رد الفعل بين القدم والأرض (GRC).

الشكل (٢) يبين منحنيات تغير قوة رد الفعل (FX) مع تغير ارتفاع كعب القدم. وكما هو معروف فإن قوة رد الفعل FX تكون خلال طور التلامس إما سالبة ويكون ذلك في النصف الأول من طور التلامس وتسمى قوة فرملة (Breaking Force)، أو موجبة ويكون ذلك في النصف الثاني من طور التلامس وتسمى بقوة الدفع (Push Off Force). وقد سميت بقوة فرملة لأنها تؤثر

كعب قدرة ٣ سم متشابهة جدا من حيث الشكل والقيمة وهذا يؤكد النتيجة التي حصلنا عليها في هذه الدراسة للمتغير FX وهي أن حالة ارتفاع كعب قدره ٣ سم تعتبر عادية تماماً ولا تؤثر على القوتين FX و FY.



الشكل (٣) منحنيات تغير قوة رد الفعل بين القدم والأرض (GRF) في الاتجاه الشاقولي (FY) خلال طور التلامس وفقاً لتغير ارتفاعات (بالسم) كعب الحذاء.

أما بالنسبة لباقي الارتفاعات (٥ و ٧ و ٩ و ١٢ سم) فإننا نلاحظ أن قيمة القمة الأولى للقوة FY قد ازدادت مع ازدياد ارتفاع الكعب، وكذلك فإن لحظة ظهور هذه القمة قد تأخرت مقارنة مع حالة حافي القدمين، ويمكن تفسير هاتين الظاهرتين كما يلي:

١- إن ارتداء الكعب العالي يؤدي إلى زيادة طول الرجل وبالتالي تزداد المسافة بين مركز ثقل الشخص ونقطة تلامس القدم مع الأرض (CP) وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة المسافة الشاقولية التي ينتقلها مركز ثقل الشخص من الأسفل إلى الأعلى أثناء تقدمه إلى الأمام ودورانه حول القدم الثابتة على الأرض. وحيث أن حركة مركز ثقل الشخص إلى الأعلى تتطلب تسارعاً أكبر فإن قوة العطالة الناشئة عنه والتي تضاف إلى ثقل الشخص تكون أكبر في حالة الكعب العالي منه في حالات الكعب العادي أو حافي القدمين.

٢- إن ارتداء الكعب العالي (كما تبين لدينا في دراسة سابقة) يؤدي إلى زيادة بسط جذع الإنسان في بداية طور التلامس وهذا يؤثر بدوره على استقرار مفصل الركبة

ويعود سبب تناقص قيمة قوة الفرملة وتأخر ظهور قمتها إلى أن استقرار مفصل الركبة في المستوي السهمي يتناقص عند الفتاة التي ترتدي الكعب العالي بسبب أنها تميل بجذعها نحو الخلف وأن زيادة قوة الفرملة تزيد من حالة عدم الاستقرار، لذلك فإن الفتاة تحمل ببطء على القدم المدروسة وهذا يسبب التأخر في ظهور قمة قوة الفرملة ويزيد أيضاً من زمن التلامس الثنائي. إضافة إلى ذلك فإنه قد تبين أن سرعة الفتاة تتناقص مع ارتفاع الكعب وهذا يؤدي أيضاً إلى تناقص في قوة الفرملة.

أما خلال مرحلة الدفع فقد تبين أن قوة الدفع تتناقص مع ازدياد ارتفاع كعب الحذاء، ويعود سبب ذلك إلى عدة أسباب:

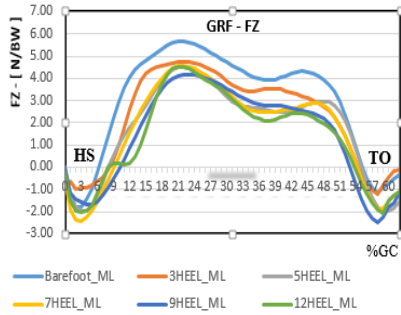
١- أن الكعب العالي يقيد مجال حركة مفصل الكاحل وهذا يضعف عضلات المفصل وبالتالي يضعف قوة الدفع.

٢- إن الكعب العالي يسبب تناقص في سرعة الفتاة وبالتالي تناقص في قوة الدفع.

٣- إن زيادة قوة الدفع عند هذه المرحلة تزيد من عزم البسط المطبق على مفصل الركبة وهذا يسبب صعوبة في انقباض مفصل الركبة اللازم للبدء بطور التراجع، لذلك فإن الفتاة تحاول أن تبقى قوة الدفع صغيرة لكي لا تحتاج إلى قبض الجذع لتخفيف استقرار الركبة الزائد والشروع في طور التراجع.

#### ٤-٢ القوة (FY):

إن مخطط قوة رد الفعل بين القدم والأرض (FY) أثناء المشي له شكل مميز ومعروف، وخلال طور التلامس يتألف بشكل أساسي من قمتين وانخفاض بينهما. الشكل (٣) يبين تغيرات قوة رد الفعل بين القدم والأرض (GRF) في الاتجاه الشاقولي (FY) خلال طور التلامس وفقاً لتغير ارتفاعات كعب الحذاء. نلاحظ من الشكل أن منحنيات FY الخاصة بحالة حافي القدمين وحالة ارتفاع



الشكل (4) منحنيات تغير قوة رد الفعل بين القدم والأرض (GRF) في المستوي الجبهي (ML) خلال طور التلامس وفقاً لتغير ارتفاعات (بالسم) كعب الحذاء. القوة الموجبة هي قوة تقرب (Adduction) والقوة السالبة هي قوة تباعد (Abduction)

أما بالنسبة لارتفاعات الكعوب ( ٥ و ٧ و ٩ و ١٢ سم) فنلاحظ أن مخططات تغير FZ لها متشابهة من حيث الشكل مع مخططي حافي القدمين وارتفاع ٣ سم، لكن قيمة FZ فيها تكون أقل بحوالي ١٧% من تلك الخاصة بحالة حافي القدمين، ويعود سبب هذا الانخفاض في قيمة القوة إلى أن ارتداء الكعب العالي يؤدي إلى تقييد حركة مفاصل الجسم وخاصة مفصل الكاحل، وهذا يضعف أداء العضلات ويؤثر على استقرار الجسم في المستويات الثلاثة. لذلك تقوم الفتاة المستخدمة للكعب العالي بإمالة الجذع في المستوي الجبهي بشكل يقرب مركز ثقل الجسم إلى فوق الرجل الداعمة للوزن وهذا يساهم في تحقيق الاستقرار في المستوي الجبهي ويقلل من قيمة القوة FZ.

##### ٥- الخاتمة:

تم في هذا البحث التحري عن آثار ارتداء الكعب العالي على قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض (FX, FY, Fz) وبينت النتائج أن ارتداء كعب أعلى من ٣ سم يؤدي إلى تغيير في شكل وقيمة هذه القوى، كما يؤدي إلى تغيير في آلية التحميل على القدم الداعمة للوزن مما يغير في لحظة ظهور القيم العظمى للقوى. وكل هذه التغيرات ناتجة عن حالة عدم الاستقرار التي تنشأ بسبب تأثير الكعب العالي على عمل العضلات والمفاصل والأقدام، وقدمت هذه الدراسة نتائج مفيدة لتوضيح تأثير ارتداء الكعب العالي على قوى ردود الأفعال بين القدم والأرض خلال المشي حيث أن الكثيرين من الباحثين لم يعيروا الاهتمام الكافي لهذه البارامترات.

في المستوي السهمي، لذلك فإن الشخص الذي يرتدي الكعب العالي يؤخر عملية التحميل على الرجل حتى يتأكد من استقرارها وهذا يفسر التأخير الحاصل في ظهور القمة الأولى للقوة (FY).

٣- إن زيادة المسافة بين مركز ثقل الشخص ونقطة (CP) الناتجة عن الكعب العالي تؤدي إلى صعوبة في دوران مركز ثقل الإنسان حول نقطة (CP) وهذا أيضاً يزيد في تأخر ظهور القمة الأولى للقوة (FY).

نلاحظ أيضاً من الشكل (٣) أن القمة الثانية للقوة (FY) تكون منخفضة قليلاً في حالات الكعب العالي مقارنة مع حالة حافي القدمين وحالة ارتفاع كعب قدره ٣ سم، و يعود سبب ذلك إلى أن الحركة الزاوية لمفصل الكاحل في المستوي السهمي تكون مقيدة بسبب ارتفاع الكعب وهذا يؤدي إلى ضعف قوة الدفع المشكّل لهذه القمة.

##### ٤-٣ القوة (FZ):

الشكل (٤) يبين نتائج تغيرات قوة رد الفعل (FZ) في المستوي الجبهي مع تغيرات ارتفاع كعب الحذاء. وهذه القوة تكون بشكل عام قوة تقرب في غالبية طور التلامس لكي تمنع انزلاق القدم إلى الناحية الوحشية وتحافظ على استقرار الجسم في المستوي الجبهي، وكثيراً ما تكون قوة تباعد في بداية هذا الطور. وإن قيمة هذه القوة تتعلق بشكل أساسي بزاوية ميلان الجذع في المستوي الجبهي فكلما كانت هذه الزاوية أكبر كلما صغرت FZ، وتتعلق أيضاً بسرعة انتقال مركز ثقل الجسم في المستوي الجبهي حيث أنه يتحرك أثناء المشي ليكون دائماً فوق (أو قريب) من الرجل الداعمة للوزن.

والآن بالنظر إلى النتائج المبينة في الشكل (٤) نلاحظ أن المنحنيين الممثلين لحالتي حافي القدمين وارتفاع كعب قدره ٣ سم متشابهين إلى حد كبير وذلك في الشكل والقيمة، وهذا يشير إلى أنه لا تأثير لارتفاع كعب قدره ٣ سم على القوة FZ وهذا كان واضحاً لدينا من بارامترات أخرى للمشي مثل FX و FY والبارامترات الحركية.



## Reference

- [١] Shang J., Geng X., Wang C., (2020) “Influences of high-heeled shoe parameters on gait cycle, center of pressure trajectory, and plantar pressure in young females during treadmill walking”. *Journal of Orthopaedic Surgery*, 28(2), pp. 1–9.
- [٢] Gastwirth B. W., O'Brien T., Nelson R. M., Kindig SA. And Maneger D.C. (1991) “An electrodynamic study of foot function in shoes of varying heel heights” *Journal of the American Podiatric Medical Association* 81(9):463-72
- [٣] Hamandi S. J., & Ruken D. M. (2020) “ Biomechanical study with kinematic and kinetic descriptions of the effect of high-heeled shoes in healthy adult females based on gait analysis”. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 671, 012063.
- [٤] Chang-Min Lee, Eun-Hee Jeong, and Andris Feivalds (2001) “Biomechanical effects of wearing high-heeled shoes”. *International Journal of Industrial Ergonomics* 28, 321–326 .
- [٥] Linh Y. N., Kelsey D. H., Kimberly M.M. and Liang-Ching T. (2021) “ Increased knee flexion and varus moments during gait with high-heeled shoes: A systematic review and meta-analysis” *Gait & Posture* V 85, PP. 117-125 .
- [٦] Gu Y. D. and Li Z.Y. (2013) “Effect of Shoes’ Heel Height on the Energy Cost during Jogging” *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 6(9): 1531-1533 .
- [٧] Wiedemeijer M.M. and Otten E. (2018) “Effects of high heeled shoes on gait. A review”. *Gait & Posture*.01.036 .
- [٨] Mueller K., Gervais S., Conway T. and Rubenstein J. (2018) “ Comparison of Gait Kinetics in High Heels vs. Barefoot” <https://digitalcommons.ithaca.edu> .
- [٩] Esenyel M., Walsh K., Walden J. G. and Gitter A. (2003 ) “Kinetics of High-Heeled Gait” *Journal of the American Podiatric Medical Association* • V. 93 • No 1.
- [١٠] Fath J., Jurek S., Secoy J. (2016) *Kinetic and Kinematic Differences of Barefoot versus High-Heeled Gait in Healthy, Young Adult Females: A Pilot Study*. Research Project Paper, Department of Physical Therapy, Angelo State University.
- [11] Smallwood L. L. A. (2018 ) “The Influence of High Heel Shoes and Toe Walking on Gait Kinematics and Kinetics” PhD. Thesis, Auburn University, Auburn, Alabama.