

التغيرات المرتبطة بالعمر للمركبة الشاقولية لقوة رد الفعل الأرضية وعلاقتها بعزوم مفاصل الطرف السفلي في المستوي السهمي

م. روان بارودي⁽¹⁾

د. مصطفى الموالي⁽²⁾

د. رستم مكية⁽³⁾

الملخص

يعد المشي من أهم أنشطة الحياة اليومية التي تلعب دوراً حيوياً في حياة كبار السن فهو يساعد في تحسين صحتهم الجسدية وال نفسية. عند المراقبة العيانية من السهل ملاحظة الاختلاف في نمط المشي بين اليافعين والبالغين الكبار، لذلك كان الهدف من هذه الدراسة هو المقارنة العمرية للمركبة الشاقولية لقوة رد الفعل الأرضية ودراسة علاقتها بعزوم مفاصل الطرف السفلي عند المشي بالسرعة الاعتيادية. تطوع لإتمام هذه الدراسة 15 شخصاً "سليماً": (8) أشخاص ضمن مجموعة اليافعين (20-30) عام، و(7) ضمن مجموعة البالغين الكبار (60-70) عام، حيث تم استبعاد الأشخاص في حال إفصاحهم عن أية مشكلة صحية تؤثر على المشي. أجري تحليل المشي وتم الحصول على بارامترات المسافة والزمن والبارامترات التحريكية في المستوي السهمي باستخدام نظام التقاط حركة ضوئي ثلاثي الأبعاد و صفيحتي قوى وذلك في قسم الهندسة الطبية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق. تم تقييس بيانات قوة رد الفعل الأرضية بالنسبة للوزن ومخططات العزوم بالنسبة للوزن والطول. أجريت الدراسة الإحصائية باستخدام برنامج SPSS الإحصائي من خلال استخدام تحليل التباين الأحادي والانحدار الخطي المتعدد للقياس. أظهرت النتائج انخفاض في قيم الذروتين وارتفاع في ذروة القاع في مخطط قوة رد الفعل الأرضية الشاقولية عند الكبار، وكذلك بينت نتائج الانحدار الخطي وجود ارتباط ذو معنى إحصائي بين عزوم قبض الورك والركبة وقيمة الذروة الأولى من قوة رد الفعل الأرضية الشاقولية، أما قيمة القاع فكان لعزم قبض الركبة أكبر تأثير على قيمته، بينما ترتبط قيمة الذروة الثانية بعزم قبض الكاحل أثناء منتصف ونهاية طور التلامس. بالتالي، تشير الفروق المرتبطة بالعمر لقوة رد الفعل الأرضية الشاقولية والناجمة عن الفروق في عزوم مفاصل الطرف السفلي إلى وجوب التوعية والاهتمام بصحة الجهاز العضلي كلما تقدم الأشخاص في العمر.

الكلمات المفتاحية: تحليل نمط المشي، بيانات المسافة والزمن، البيانات التحريكية، المركبة الشاقولية لقوة رد الفعل الأرضية.

⁽¹⁾ قسم الهندسة الطبية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

⁽²⁾ قسم الهندسة الطبية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

⁽³⁾ قسم الجراحة - كلية الطب البشري - جامعة دمشق.

Age-Related Changes in Vertical Ground Reaction Force and its Relationship to the Moments of Lower Limb Joints in Sagittal Plane

Eng. Rawan Baroudy⁽¹⁾

Dr. Mostafa Al-Mawaldi⁽²⁾

Dr. Rustom Makieh⁽³⁾

Abstract

Walking is one of the most important activities of daily living that plays a vital role in the lives of the elderly as it helps in improving their physical and psychological health. On visual observation, It is easy to notice the difference in gait pattern between young and middle adult people, so the aim of this study was to compare the vertical ground reaction force according to age and to study its relationship with lower limb joints moments when walking at comfortable speed. Eight healthy young people, (20-30) years old, and seven healthy middle adult people, (60-70) years old, volunteered to complete this study. Subjects with any health problem affecting walking were excluded. Spatio-temporal parameters and sagittal kinetic data were obtained and analyzed using 3D optical motion capture system and two force platforms in Biomedical engineering department, Faculty of mechanical and Electrical Engineering at Damascus university. The data of vertical ground reaction force were normalized for weight, and Kinetic data were normalized for weight and height. The statistical study was conducted using the SPSS statistical program by using one-way analysis of covariance and multiple linear regression. The results showed that middle adult people have lower first peak, second peak, and peak minimum of vertical ground reaction force than younger people. The results from multiple linear regression showed that there was statical relation between hip and knee flexion and the first peak force. The minimum value of vertical ground reaction force was related with knee flexion moment. Whereas the second peak force was related to dorsiflex moment at mid and late stance phase. Subsequently, the age-related differences of the vertical ground reaction force resulting from the differences in the lower limb joints moments indicate the need for awareness and attention to the health of the muscular system as people age.

Key words: Gait analysis, Spatio-temporal parameters, Kinetics, Vertical ground reaction force.

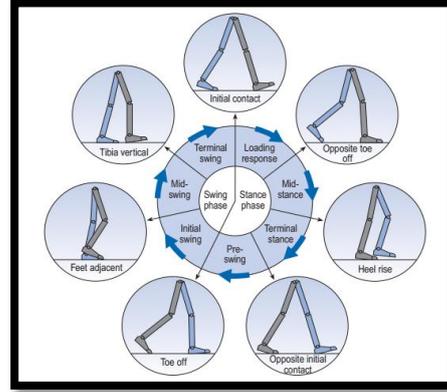
⁽¹⁾ Biomedical Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University.

⁽²⁾ Biomedical Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University.

⁽³⁾ Surgery Department, Faculty of Medicine, Damascus University.

1. المقدمة

يعتبر المشي نشاطاً مألوفاً عند الأحياء ويعرف بأنه طريقة للتنقل تتضمن استخدام الساقين بالتناوب لتحريك الجسم نحو الأمام بحيث يكون في كل لحظة إحدى القدمين على الأقل على تلامس مباشر مع الأرض. تمر عملية المشي بسلسلة متكررة من حركة الطرفين السفليين لتحريك الجسم للأمام مع الحفاظ على ثبات الجسم، وهي (التلامس الأولي، مغادرة أصابع القدم الأخرى للأرض، ارتفاع عقب القدم عن الأرض، التلامس الأولي للقدم الأخرى، مغادرة أصابع القدم للأرض، الأقدام المتجاورة، تعامد الساق مع الأرض [25]، الشكل (1)).



الشكل (1): توضع القدمين خلال دورة المشي [25].

تُعرّف دورة المشي على أنها الفترة الزمنية بين تكرارين متتاليين لأحد الأحداث المتكررة للمشي، بمعنى آخر هي الفترة الزمنية الممتدة، مثلاً، من لحظة تلامس عقب القدم مع الأرض إلى لحظة تلامسه مع الأرض مرة أخرى. خلال دورة المشي يمر كل طرف بطورين أساسيين [19]:

- طور التلامس: تكون خلاله القدم في حالة تلامس كلي أو جزئي مع الأرض.
- طور التآرجح: ترتفع فيه القدم عن الأرض لتتأرجح في الهواء استعداداً لدورة مشي جديدة.

يتم وصف المشي عموماً بعدد من البارامترات تدعى بارامترات المسافة والزمن، هي:

1. زمن دورة المشي: الزمن اللازم لإنجاز دورة مشي

واحدة.

2. زمن طور التلامس: الفترة الزمنية الممتدة من لحظة تلامس عقب القدم مع الأرض إلى لحظة مغادرة أصابع تلك القدم للأرض.

3. زمن طور التآرجح: الفترة الزمنية الممتدة من لحظة مغادرة أصابع القدم للأرض إلى لحظة تلامس عقب تلك القدم للأرض مرة أخرى.

4. زمن التلامس الثنائي: الفترة الزمنية التي تكون فيها كلتا القدمين على تلامس مع الأرض.

5. طول الخطوة: المسافة التي يقطعها الشخص خلال خطوة واحدة، وهي المسافة الأمامية - الخلفية بين القدمين.

6. طول دورة المشي: مجموع طولي الخطوتين اليمنى واليسرى.

7. عرض الخطوة: المسافة الأنسية - الوحشية بين عقبي القدمين وهما في نفس الحدث.

8. سرعة المشي: هي المسافة المقطوعة خلال واحدة الزمن.

كما يستخدم في تحليل المشي مصطلحي المحددات الحركية والمحددات التحريكية، فالمحددات الحركية تصف حركة أجزاء الجسم دون النظر إلى القوى الأساسية المسؤولة عن هذه الحركة بل تهتم بتفاصيل الحركة نفسها، بينما المحددات التحريكية تشمل دراسة القوى دون النظر إلى موضع الجزء المدروس في الفراغ [25].

من الواضح للعيان أنه مع اختلاف الأعمار يلاحظ اختلاف في نمط المشي، حيث تبدأ سرعة المشي بالتباطؤ تدريجياً ويبدأ أداء المشي عموماً في الانخفاض كلما تقدم الشخص في العمر [17]. تخضع جودة المشي بشكل عام إلى عاملين رئيسيين: التقدم في العمر والأمراض الهيكلية والعصبية (كهشاشة العظام، التهاب المفاصل الروماتيدي، الضعف والضمور العضلي، والأمراض العصبية،...) والتي تزداد وتصبح أكثر شيوعاً كلما تقدم الشخص في العمر. فعند المقارنة بين مشية اليافعين في بداية العقد الثالث من العمر (العقد الممتد من 20 إلى 30 عاماً)

خلال طور التلامس من خلال عزوم القبض لكل من الورك، الركبة، والكاحل [28].

تعتبر قوة رد الفعل الأرضية (GRF) أحد المتغيرات الرئيسية والهامة في علم الميكانيك الحيوي [11] تؤثر على تسارع مركز كتلة الجسم [27]، وتتكون هذه القوة من ثلاث مركبات وهي: القوة الشاقولية، القوة الأفقية الأمامية - الخلفية، والقوة الأفقية الأنسية - الوحشية [9]. عندما تبدأ الأرض بتلقي وزن الجسم ويبدأ هذا الجسم بالتحرك عبر الأطراف الداعمة، تتولد قوى رد فعل أرضية شاقولية وأفقية مساوية في الشدة ومعاكسة في الاتجاه لتلك التي يطبقها الطرف الحامل للوزن على الأرض [16]. في وضعية الوقوف تكون قوة رد الفعل شاقولية فقط لأنها تعاكس وزن الجسم، وعندما يبدأ الجسم بالتقدم نحو الأمام تبدأ القوى الأفقية بالظهور بسبب الاحتكاك بين القدم والأرض. يستخدم هذا المتغير الهام لفحص جودة الحركة البشرية وأنماط المشي [4,24]، كشف مشاكل الجهاز الهيكلي العظمي والعضلي [26]، تقييم تقويم العظام [21]. وكما هو الحال في المحددات الحركية والتحريرية فإن قوة رد الفعل الأرضية تتغير خلال كامل طور التلامس، فهناك العديد من العوامل التي تؤثر على قوة رد الفعل الأرضية، كما هو موثق في الأوراق البحثية، كالسرعة والجنس والتعب ونوعية الحذاء الذي يرتديه الشخص [1,10,15]. يبدي مخطط قوة رد الفعل الشاقولية للإنسان السليم وعند سرعة مشي طبيعية ذروتين وانخفاض بينهما، تكون الذروة الأولى بعد حوالي 10% من تلامس عقب القدم مع الأرض أما الذروة الثانية فتكون أثناء مرحلة الدفع، وتعكس هاتان القمتان دعم مركز كتلة الجسم [10]، بينما يشير الانخفاض بين القمتين إلى تناقص القوة الشاقولية المطبقة على الأرض وبالتالي تناقص قوة رد الفعل من الأرض إلى الجسم [8]. تظهر العديد من الدراسات اختلافاً في قيم الذروتين والانخفاض في مخطط قوة رد الفعل الأرضية الشاقولية للكبار مقارنة مع الشباب الأصغر سناً مما يعطي معلومات حول قدرة

ومشية البالغين الكبار في العقد السابع من العمر فإنه يمكن وصف مشية البالغين الكبار، في حال تم استبعاد الأشخاص الذين يعانون من حالات مرضية تؤثر على المشي، بأنها نسخة بطيئة عن مشية اليافعين الأصغر سناً. ربما يكون سبب هذا الاختلاف في نمط المشي بين الشباب والكبار هو لزيادة الأمان عند المشي [25]. من الأمور التي يمكن ملاحظتها في مشية الكبار أيضاً: انخفاض في طول دورة المشي حيث يميل كبير السن إلى رفع عقب القدم بشكل أقل خلال فترة ما قبل التراجع، وزيادة في عرض الخطوة. يساهم انخفاض طول دورة المشي وزيادة عرض الخطوة إلى تسهيل الحفاظ على التوازن أثناء المشي. إضافة إلى ذلك، هناك العديد من التغييرات الأخرى التي يمكن ملاحظتها عند البالغين الكبار مثل الزيادة النسبية في زمن طور التلامس كنسبة مئوية من دورة المشي، وكذلك زمن التلامس الثنائي، والتي تؤدي إلى زيادة زمن دورة المشي [25]. غالباً ما تكون سرعة المشي عند الكبار أقل منها عند الشباب [12,13]. أما فيما يتعلق بالمحددات الحركية، أبلغت عدد من الدراسات التي تقارن تلك المحددات بين الكبار واليافعين [13,14,27] عن انخفاضات طفيفة مرتبطة بالعمر في نطاق حركة المفاصل عند الكبار، خاصة في مفصلي الورك والكاحل. فمعظم التغييرات في زوايا المفاصل تشمل انخفاض في زوايا قبض وبسط الورك، انخفاض في زاوية قبض الركبة في طور التراجع، وانخفاض في زاوية بسط الكاحل في مرحلة الدفع. كل هذه التغييرات في الحركة الزاوية للمفاصل ترتبط أيضاً بطول وزمن دورة المشي [14]. كذلك أفادت العديد من الدراسات أن الأفراد الكبار يظهرون تغيراً مرتبطاً بالعمر في المحددات التحريكية للمشي حيث تكون عزوم مفصلي الورك والركبة منخفضة بشكل ملحوظ عن مثيلاتها عند الشباب [3,6]، مما يشير إلى أنه هناك اختلاف في الاستراتيجية المتبعة لدعم الجسم بين الكبار والشباب حيث يتم تأمين الدعم للجسم

قيمتها عند الكبار مقارنة مع الشباب، كما رجحت تلك الدراسة وجود ضعف في عضلات الطرف السفلي مما يؤثر على عزوم مفاصل الطرف السفلي [18].

3. الطرق والمواد المستخدمة:

1.3. المشاركين في الدراسة:

تضمنت الدراسة (15) شخصاً سليماً تم تقسيمهم حسب العمر إلى مجموعتين:

المجموعة الأولى: هي مجموعة الشباب اليافين (8) أشخاص (4 ذكور و 4 إناث) تتراوح أعمارهم بين (20 - 30) عام بمتوسط عمر (3.8) 24.8 سنة. وأطوالهم بين (167 - 148) سم بمتوسط طول (5.11) 155.3 سم. بينما أوزانهم فتتراوح بين (69 - 47) كغ بمتوسط وزن (10.66) 55.91 كغ. **المجموعة الثانية:** هي مجموعة البالغين الكبار (7) أشخاص (3 ذكور و 4 إناث) تتراوح أعمارهم بين (70 - 60) عام بمتوسط عمر (2.1) 64 سنة. وتتراوح أطوالهم بين (169 - 150) سم بمتوسط طول (1.08) 158.23 سم. بينما أوزانهم فتتراوح بين (88-69) كغ بمتوسط وزن (13.8) 78.5 كغ. تم استبعاد الأشخاص في حال إصاحهم عن أية اضطرابات عصبية أو عضلية أو أية مشكلة عظمية مفصليّة أو في حال وجود تاريخ مسبق لأي عملية جراحية تؤثر على المشي. تم توضيح الغرض من الدراسة لكل شخص والتأكيد على حماية حقوقه الإنسانية.

يبين الجدول (1) الصفات العامة للمجموعتين المشاركيتين في الدراسة بعد إيجاد القيم الوسطية لكل متغير، إضافة إلى القيم الإحصائية الخاصة بهما.

الجدول (1): الصفات العامة للمشاركين في الدراسة.

الجنس	العمر (سنة)	الطول (سم)	الوزن (كغ)
ذكور (4)	23.7 (3.6)	158.9 (7.1)	60.5 (6.3)
إناث (4)	25.9 (2.4)	151.7 (5.5)	51.3 (4.7)
البالغين الكبار (7)	64.41(2.4)	164.46 (6.8)	75.8 (5.1)
إناث (4)	63.5 (2.8)	152 (3.8)	81.2 (7.6)
	0.001	0.95	0.019
			P-Value

المشي عند الكبار. ولكن حتى الآن فإن السبب المؤدي إلى هذا الاختلاف في مخطط قوة رد الفعل الأرضية بين الكبار واليافين غير واضح تماماً. نظراً لقلّة الدراسات التي تناولت هذا الجانب كان الهدف من هذه الدراسة هو المقارنة العمرية للمركبة الشاقولية لقوة رد الفعل الأرضية وتحليل العلاقة بين عزوم مفاصل الطرف السفلي ومطال هذه المركبة الشاقولية.

2. الدراسات المرجعية:

قام كل من Devita وزملائه عام 2000 بدراسة الهدف منها هو مقارنة عزوم وطاقة المفاصل بين الشباب والكبار عند سرعة مشي طبيعية. تمت الدراسة على 12 شخص من فئة الكبار، و 14 شخص من فئة الشباب (تتراوح الأعمار بين (21-69) عام). كانت النتيجة لهذه الدراسة أن عزوم المفاصل مختلفة بشكل واضح بين المجموعتين بحيث أن الكبار يستخدمون العضلات الباسطة للورك والباسطة للركبة والكاحل بشكل أقل من الشباب [3].

في عام 2015 درس Toda وزملائه العلاقة بين المركبة الشاقولية لقوة رد الفعل الأرضية وعزوم المفاصل أثناء المشي. تمت الدراسة على 40 شخص من فئة الكبار أعمارهم 65 سنة أو أكثر، و 40 شخص من فئة الشباب أعمارهم تتراوح من 20 إلى 29 سنة. أظهرت النتائج وجود انخفاض فقط في القمة الثانية لقوة رد الفعل الشاقولية كما تبين أن عزم بسط الركبة يؤثر عليها لفئة الشباب فقط، بينما أثر الكاحل، والركبة على تلك القمة عند الكبار فقط [23].

كما درس Rastegar وزملائه عام 2017 تأثير العمر وسرعة المشي على قوة رد الفعل الأرضية الشاقولية. كانت الدراسة على 15 شخص من فئة الشباب متوسط أعمارهم 26.46 عام، و 15 شخص من فئة الكبار متوسط أعمارهم 70.33 عام. أظهرت النتائج أنه هناك اختلاف ذو معنى إحصائي بين المجموعتين في كل من قيم الذروتين الأولى والثانية لقوة رد الفعل الأرضية الشاقولية حيث انخفضت

2.3. الطرق والأجهزة المستخدمة:

أجري تحليل المشي في مخبر الميكانيك الحيوي في قسم الهندسة الطبية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق باستخدام نظام تحليل الحركة Smart- (BTS, Milan, Italy) المؤلف من ست كاميرات تلفزيونية ترسل أشعة تحت حمراء وتعمل بتردد التقاط 200 هرتز، وصفيحتي قوى (Kistler, Switzerland) تعمل عند نفس تردد الكاميرات، وذلك لقياس المحددات الحركية وقوى ردود الفعل الأرضية، على الترتيب، ثم تنقل البيانات المقاسة إلى الحاسب حيث يتم استخدام برنامج حاسوبي متطور (Smart clinic) من شركة BTS Bioengineering الإيطالية لمعالجة البيانات. تم إنجاز تحليل المشي وفق الخطوات التالية:

1. تسجيل البيانات الشخصية لكل فرد وهي: العمر، الجنس، الوضع الصحي العام.

2. قياس الوزن (كغ) والطول (سم)، ثم إجراء قياس لبعض أبعاد الجسم الخارجية (سم) وهي: عرض الحوض، عمق الحوض، طول الرجل، قطر الركبة، وعرض الكاحل، وتزويد برنامج smart clinic بها ليقوم بحساب مراكز مفاصل الطرف السفلي والقياسات الأنثروبومترية (الكتلة m، مركز الثقل CG، وعزم العطالة I) بغية حساب القوى والعزوم المؤثرة على مفاصل الطرف السفلي وفقاً لمعادلات نيوتن-أويلر للحركة، ويتم ذلك باستخدام النموذج الرياضي Davis Heel الذي يمثل كل جزء من أجزاء الجسم المدروسة بشكل هندسي معروف، حيث ترتبط أجزاء هذا النموذج بواسطة المفاصل.

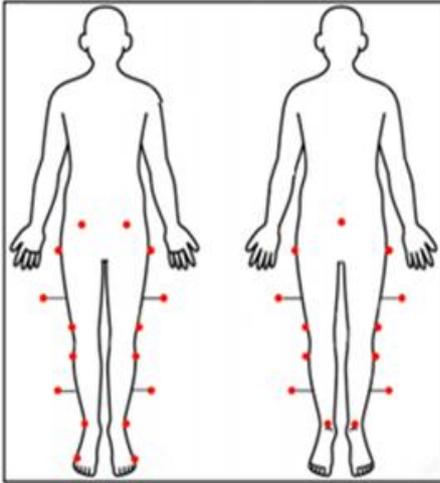
3. يتم وضع 19 كرية صغيرة، بقطر 1 سم، عاكسة للأشعة تحت الحمراء (17 كروية، 2 نصف كروية) على نقاط عظمية بارزة من الجسم وفقاً لبروتوكول Davis Heel لدراسة الطرف السفلي، ويوضح الشكل (2) أماكن توضع الكريات العاكسة للأشعة تحت الحمراء حسب بروتوكول Davis Heel [20].

المدور الكبير من كل طرف، اللقيمة الوحشية للفخذ لكل طرف، رأس الشظية من كل طرف، الكاحل الوحشي لكل طرف، الكعب لكل طرف، رأس عظم السلامة الخامسة لكل قدم، عند حوالي 1/3 طول الفخذ بحيث تتوضع الكرية على عمود صلب (لكل طرف)، عند حوالي 1/3 طول الساق بحيث تتوضع الكرية على عمود صلب (لكل طرف).

4. بعد التأكد من صحة البيانات الشخصية وقياسات الجسم وصحة توضع الكريات على الجسم يطلب من الشخص إنجاز مهمتين:

• الوقوف على إحدى صفيحتي القوى والثبات بهذه الوضعية لمدة 5 ثوان، في هذه المرحلة يطلب من الشخص محاذاة قدميه لتجنب تقدم أو تراجع إحدى القدمين عن الأخرى.

• المشي حافي القدمين وبسرعة طبيعية على ممشى بطول 8 متر ضمن حجم التجربة المحدد مسبقاً خلال عملية معايرة النظام، في هذه المرحلة يطلب من الشخص إجراء خطوة واحدة فقط على كل صفيحة قوى حتى يكون بالإمكان حساب إحداثيات نقطة تطبيق القوة (مركز الضغط) لكل طرف.



الشكل (2): أماكن توضع الكريات العاكسة للأشعة تحت

الحمراء حسب بروتوكول Davis Heel [20].

بعد التأكد من اعتياد الشخص على ظروف التجربة، بحيث يتمكن من تحقيق تلامس كامل لقدم واحدة على كل

يبين الجدول (3) بيانات قوة رد الفعل الأرضية الشاقولية وعزوم المفاصل في المستوى السهمي. يظهر الشكل (3) مخطط قوة رد الفعل الأرضية الشاقولية للفئتين المشاركيتين في الدراسة. يظهر الشكل (4) عزوم مفاصل الطرف السفلي للفئتين المشاركيتين في الدراسة.

نلاحظ من الشكل (3) والجدول (3) مايلي:

كان لدى البالغين الكبار قيم أقل لقوة رد الفعل الأرضية الشاقولية عند الذروتين الأولى ($p=0.0031$) والثانية ($p=0.01$)، بينما كان هناك ارتفاع في ذروة القاع لديهم ($p=0.0043$) عند المقارنة مع المخطط الممثل لفئة اليافعين. كما كان هناك ظهور متأخر للقمة الأولى عند البالغين الكبار بالإضافة إلى الظهور المبكر للقمة الثانية لديهم مقارنة مع اليافعين.

الجدول (3): بيانات قوة رد الفعل الأرضية الشاقولية وعزوم المفاصل عند القمم في المستوى السهمي.

P-Value	Mean (SD)		المتغير
	البالغين الكبار (7)	اليافعين (8)	
قوة رد الفعل الأرضية الشاقولية (N/kg)			
0.0031	0.96 (0.95)	1.03 (1.03)	القمة الأولى لقوة رد الفعل الشاقولية
0.0043	0.87 (1.98)	0.82 (2.01)	القيمة الدنيا لقوة رد الفعل الشاقولية
0.01	1.09 (0.61)	1.15 (0.77)	القمة الثانية لقوة رد الفعل الشاقولية
العزوم على مفاصل الطرف السفلي (N.m/kg.m)			
0.82	-0.09 (0.12)	-0.09 (0.10)	عزم بسط الكاحل
0.002	0.55 (0.99)	0.65 (0.62)	عزم قبض الكاحل
0.021	0.35 (0.13)	0.41 (0.19)	عزم قبض الركبة (بداية التلامس)
0.042	-0.03 (0.13)	-0.06 (0.11)	عزم بسط الركبة (منتصف التلامس)
0.68	0.16 (0.11)	0.14 (0.16)	عزم قبض الركبة (نهاية التلامس)
0.014	0.26 (0.12)	0.38 (0.09)	عزم قبض الورك
0.29	-0.49 (0.13)	-0.51 (0.09)	عزم بسط الورك

صفيحة القوى لأنه في جال أجبر نفسه على ذلك قد يغير من نمط الحركة خلال المشي، تم تسجيل ثلاث تجارب مشي ناجحة كما هو موصى في بروتوكول Davis Heel [2] وذلك باستخدام البرنامج الحاسوبي smart clinic ثم حساب المتوسط للتجارب الثلاث للحصول على النتائج النهائية لتحليل المشي حيث تم تقييس قيم قوى رد الفعل الأرضية بالنسبة للوزن، وقيم عزوم مفاصل الطرف السفلي بالنسبة للوزن والطول وذلك لتلافي فروقات القياس الناتجة عن الاختلاف في البنى الجسمية بين الأشخاص.

3.3. الدراسة الإحصائية:

أجري تحليل جميع البيانات باستخدام برنامج SPSS الإحصائي باستخدام تحليل التباين الأحادي لمعرفة الفرق بين المجموعتين، بينما تم استخدام الانحدار الخطي المتعدد القياسي لدراسة تأثير عزوم مفاصل الطرف السفلي على مطال المركبة الشاقولية لقوة رد الفعل الأرضية، وتم إثبات وجود دلالة إحصائية عند قيم ($P < 0.05$).

4. النتائج:

من الجدول (1) الذي يبين الصفات العامة للفئتين العمريتين المشاركيتين في الدراسة، نجد أن مجموعة البالغين الكبار لديهم كتلة جسم أعلى من مجموعة اليافعين، لكن لم يكن هناك فرق ذو معنى إحصائي بالنسبة للطول.

يبين الجدول (2) المقارنة في محددات المسافة والزمن بين مجموعتي اليافعين والبالغين الكبار بعد حساب القيم المتوسطة. حيث كان لدى الكبار سرعة مشي أبطأ ($p=0.022$) وطول خطوة أقصر ($p=0.036$) مقارنة مع فئة اليافعين، بينما لم يكن هناك فرق إحصائي ملحوظ بالنسبة للإيقاع ولزمن التلامس ($p=0.609, 0.543$) على التوالي.

الجدول (2): محددات المسافة والزمن.

P-Value	Mean (SD)		المتغير
	البالغين الكبار (7)	اليافعين (8)	
0.022	63.56 (1)	65.36 (1.98)	سرعة المشي (%height/s)
0.543	97.8 (0.84)	102.1 (1.31)	الإيقاع (خطوة دقيقة)
0.036	0.57 (1.1)	0.60 (2.18)	طول الخطوة (م)
0.609	60.02 (1.7)	61.22 (2.1)	زمن التلامس (%دورة المشي)

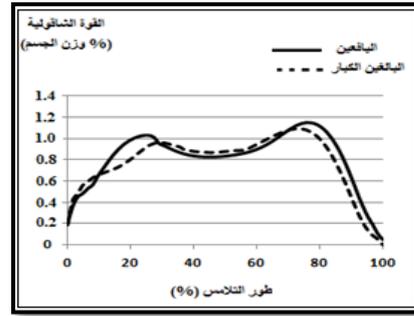
وجود فرق احصائي في عزم قبض الركبة في فترة الاستجابة للحمل وبداية طور التلامس حيث كانت قيمته لدى البالغين الكبار أقل بشكل ملحوظ منها عند اليافعين ($p=0.021$) بينما لم يكن هناك فرق خلال أواخر طور التلامس. كما كان هناك نقصان في عزم بسط الركبة في منتصف طور التلامس عند مجموعة البالغين الكبار مقارنة مع مجموعة اليافعين ($p=0.042$). وبالنسبة لمفصل الورك فقد كان هناك انخفاض في قيمة قمة عزم قبض الورك عند البالغين مقارنة مع فئة اليافعين ($p=0.014$)، بينما لم يلاحظ وجود اختلاف بين الفئتين في عزم بسط الورك.

يوضح الجدول (4) معاملات نموذج الانحدار للمتغيرات المؤثرة على قيم مطال قوة رد الفعل الأرضية الشاقولية وذلك عند تطبيق الانحدار الخطي المتعدد القياسي.

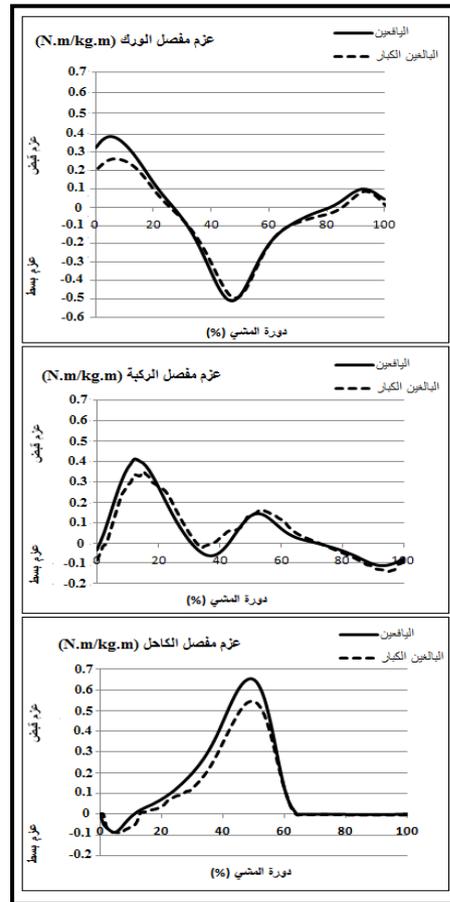
تدل بيانات هذا الجدول على وجود ارتباط ذو معنى إحصائي بين قيمة الذروة الأولى وقيم عزوم قبض الورك والركبة في بداية طور التلامس، بينما ارتبطت قيمة القاع بين الذروتين بعزم قبض الركبة، وارتبطت قيمة الذروة الثانية من مخطط القوة بعزم القبض لمفصل الكاحل أثناء منتصف ونهاية طور التلامس.

الجدول (4) بيانات الانحدار الخطي المتعدد.

القيمة الأولى لقوة رد الفعل الشاقولية			
بسط الكاحل	عزم قبض الركبة (بداية تلامس)	عزم قبض الورك	
-1.19	1.34	1.88	قيمة المعامل (غير القياسي)
-0.49	0.41	0.52	قيمة المعامل (القياسي)
0.73	0.02	0.00	P-value
القيمة الثانية لقوة رد الفعل الشاقولية			
عزم قبض الكاحل	قبض ركبة نهاية تلامس	بسط الورك	
2.16	1.90	1.09	قيمة المعامل (غير القياسي)
0.48	0.37	0.81	قيمة المعامل (القياسي)
0.07	0.61	0.63	P-value
القيمة الدنيا لقوة رد الفعل الشاقولية			
عزم قبض الركبة (بداية التلامس)			
	-1.58		قيمة المعامل (غير القياسي)
	-0.60		قيمة المعامل (القياسي)
	0.036		P-value



الشكل (3) مخطط قوة رد الفعل الأرضية الشاقولية



الشكل (4) عزوم مفاصل الطرف السفلي.

أما بالنسبة لعزوم مفاصل الطرف السفلي فكما يوضح الشكل (4) والجدول (3) أنه كان عزم قبض الكاحل عند الكبار أقل من قيمته عند اليافعين في فترة نهاية طور التلامس ($p=0.002$)، بينما لم يلاحظ فرق ذو معنى إحصائي في عزم بسط الكاحل بين الفئتين العمريتين على كامل فترة بداية طور التلامس ($p=0.82$). فيما يتعلق بمفصل الركبة لوحظ

5. المناقشة:

كان الهدف من هذه الدراسة هو المقارنة العمرية للمركبة الشاقولية لقوة رد الفعل الأرضية وتحليل العلاقة بينها وبين عزوم مفاصل الطرف السفلي. أجريت الدراسة على 15 شخص سليم ضمن مجموعتين (مجموعة اليافعين و مجموعة البالغين الكبار). تميزت مجموعة البالغين الكبار في هذه الدراسة بأن لديهم كتلة جسم أعلى من مجموعة اليافعين، كما بينت النتائج في هذه الدراسة عدم وجود اختلاف في إيقاع المشي وزمن طور التلامس بين المجموعتين، بينما كان البالغين الكبار يمشون بسرعة أبطأ وطول خطوة أقل مقارنة مع مجموعة اليافعين. بالنسبة لسرعة المشي توافقت نتائج هذه الدراسة مع الدراساتتين التين قام بها كل من Toda H وزملائه [23] و Kerrigan DC وزملائه [6]، حيث أشارت كل من هاتين الدراساتتين على وجود فرق ذو معنى إحصائي في السرعة بين الكبار واليافعين بحيث مشى الكبار بسرعة أبطأ. أما فيما يتعلق بطول الخطوة توافقت نتائج هذه الدراسة مع الدراساتتين التين قام بها كل من DeVita P وزملائه [3] و Yamada T وزملائه [29]، حيث أشارت كل من هاتين الدراساتتين على وجود فرق ذو معنى إحصائي في طول الخطوة بين الكبار واليافعين بحيث مشى الكبار بطول خطوة أقل.

في هذه الدراسة أظهرت بعض المتغيرات اختلافات مرتبطة بالعمر، فبالنسبة إلى قوة رد الفعل الأرضية الشاقولية كان هناك اختلاف إحصائي واضح بين الفئتين العمريتين المدروستين، هذا الاختلاف يتمثل بانخفاض في قيم الذروتين الأولى والثانية للقوة وارتفاع في ذروة القاع والذي يحدث عند منتصف التلامس وذلك عند مجموعة البالغين الكبار مقارنة مع اليافعين. كما كان هناك ظهور متأخر للقمة الأولى عند البالغين الكبار وذلك لأن نمط مشيتهم يتميز بتلامس ثنائي مدته أكبر مقارنة مع اليافعين، بالإضافة إلى الظهور المبكر للقمة الثانية لديهم لأنهم سينقلون الوزن إلى الطرف الآخر بشكل سريع ليصبح دعم الجسم على الطرفين فهم يشعرون بالاستقرار

والراحة عند التحميل على الطرفين [25] وهذا ما يفسر أيضاً الظهور المبكر لعزم انبساط الركبة الأول عند البالغين الكبار. توافقت نتائج هذه الدراسة فيما يتعلق بقيم الذروتين مع الدراسة التي قام بها Jung S وزملائه [5]، بينما أظهرت نتائج هذه الدراسة توافق جزئي مع نتائج الدراساتتين التي قام بها كل من Toda H وزملائه [23] و Rastegar M [18]، حيث كانت دراسة Toda H تشير إلى وجود انخفاض فقط في القمة الثانية لقوة رد الفعل الشاقولية حيث كانت قيمتها عند البالغين الكبار 1.02 بينما كانت عند اليافعين 1.07، أما Rastegar M توصلت دراستها إلى وجود انخفاض في قيم القمتين الأولى والثانية لقوة رد الفعل الأرضية الشاقولية عند الكبار مقارنة مع اليافعين ((القمة الأولى: عند الكبار 1.02 وعند اليافعين 1.18)، القمة الثانية: عند الكبار 0.96 وعند اليافعين 1.02)). بينما أظهرت نتائج الدراسة التي قام بها Larish وزملائه [7] أنه لا يوجد اختلاف إحصائي في قيمة القمة الأولى وانحصر الاختلاف في قيمة الذروة الثانية من مخطط المركبة الشاقولية لقوة رد الفعل الأرضية. وأظهرت نتائج الدراسة التي قام بها Stergiou N [22] وزملائه اختلافاً كاملاً مع تلك الموجودة في هذه الدراسة حيث تلخصت بعدم وجود أي اختلاف في قوة رد الفعل الأرضية الشاقولية بين المجموعتين حيث كانت قيمة P-value للمجموعتين أكبر 0.05 مما يشير إلى عدم وجود اختلاف ذو معنى إحصائي، بينما كانت في هذه الدراسة أصغر من 0.05.

يتموج مخطط تسارع مركز ثقل الجسم أثناء المشي، ففي مرحلة الاستجابة للحمل يكون مركز ثقل الجسم في أدنى نقطة له مما يؤدي إلى توليد القمة الأولى لقوة رد الفعل الأرضية الشاقولية، في هذه المرحلة يكون شعاع قوة رد الفعل ماراً من خلف مفصلي الكاحل والركبة وأمام مفصل الورك مما يؤدي إلى نشوء عزم خارجي يعاكسه عزم داخلي ناتج عن العضلات المحيطة بالمفاصل، بالتالي في هذه المرحلة، في المستوي السهمي، يتولد عزم قبض للورك لقبول وزن الجسم وكذلك عزم قبض للركبة. أثبتت النتائج في هذه الدراسة أنه في بداية طور التلامس

Reference

1. Bazuelo-Ruiz B., Durá-Gil J. V., Palomares N., Medina E., Llana Belloch, S. (2018) "Effect of fatigue and gender on kinematics and ground reaction forces variables in recreational runners". Peer J; 6:4489.
2. Davis R., Ounpuu S., Tyburski D., Gage J. (1991) "A Gait analysis data collection and reduction technique". Human Movement Science; 10: 575-587.
3. DeVita P., Hortobagyi T. (2000) "Age causes a redistribution of joint torques and powers during gait". J Appl Physiol; 88: 1804-1811.
4. Horsak B., Slijepcevic D., Raberger M., Schwab C., Worisch M., Zeppelzauer M. (2020) "GaitRec, a large-scale ground reaction force dataset of healthy and impaired gait". Sci. Data; 7(1):143.
5. Jung S., Lim J., Yoonsil Yi., Park DS. (2018) "Comparison of vertical ground reaction forces between female elderly and young adults during sit-to-stand and gait using the Nintendo Wii Balance Board". Physical Therapy Rehabilitation Science; 7(4):179-185.
6. Kerrigan DC., Todd MK., Della Croce U., et al. (1998) "Biomechanical gait alterations independent of speed in the healthy elderly: evidence for specific limiting impairments". Arch Phys Med Rehabil; 79(3): 317-322.
7. Larish DD., Martin PE., Mungiole M. (1988) "Characteristic patterns of gait in the healthy old". Ann N Y Acad Sci; 515: 18-32.
8. Liu M.Q., Anderson F.C., Pandy M.G., Delp S.L. (2006) "Muscles that support the body also modulate forward progression during walking". J Biomech; 39(14): 2623-2630.
9. McClay I. S., Cavanagh P. R. (1994) "Relationship between foot placement and mediolateral ground reaction forces during running". Clin Biomech; 9(2), 117-123.
10. Mei Q., Fernandez J., Fu W., Feng N., Gu Y. (2015) "A comparative biomechanical analysis of habitually unshod and shod runners based on a foot morphological difference". Hum Mov Sci; 42: 38-53.
11. Munro F., Miller I., and Fuglevand J. (1987) "Ground reaction forces in running: a reexamination". J. Biomech; 20(2): 147-155.

كان هناك فرق ذو معنى احصائي في كل من قيم عزوم قبض الورك والركبة حيث كانت قيمته أصغر لدى البالغين الكبار منها عند اليافعين وقد وُجد ارتباط هذين المتغيرين بالذروة الأولى لقوة رد الفعل الشاقولية عند استخدام الانحدار الخطي المتعدد لاختبار العلاقة بين المتغيرات وهذه الذروة. أما في مرحلة منتصف طور التلامس تكون الحاجة في هذه المرحلة هي التحكم بتسارع مركز ثقل الجسم نحو الأعلى فيؤدي إلى نشوء ذلك الانخفاض بين الذروتين في مخطط المركبة الشاقولية لقوة رد الفعل الأرضية، أثناء هذه المرحلة يكون العزم على مفصل الورك هو عزم بسط، ويتناقص عزم القبض الناتج عن الركبة في المرحلة السابقة ليحل محله عزم بسط. ولكن عند إجراء تحليل الانحدار الخطي المتعدد لوحظ ارتباط عزم قبض الركبة في بداية التلامس بقيمة الانخفاض في مخطط قوة رد الفعل الأرضية. يتوافق ظهور الذروة الثانية لقوة رد الفعل الأرضية مع نهاية طور التلامس، في هذه المرحلة يسود عزم قبض الكاحل للتحكم بنقدم الساق فوق القدم وتأمين الدفع الجيد للقدم نحو الأمام، فأكدت النتائج التي توصلنا إليها في هذه الدراسة ارتباط عزم قبض الكاحل مع قيمة الذروة الثانية للقوة في أواخر طور التلامس وكانت قيمته عند الكبار البالغين أصغر منها عند اليافعين فأدت إلى انخفاض قيمة الذروة الثانية لقوة رد الفعل الشاقولية.

6. الخلاصة:

تدعم نتائج هذه الدراسة الأدلة حول وجود فروق مرتبطة بالعمر في قوة رد الفعل الأرضية الشاقولية، وهذه الفروق مرتبطة بالاختلاف في عزوم مفاصل الطرف السفلي والتي بدورها ترتبط بسلامة المفاصل ويمدى النشاط العضلي للطرف السفلي، لذلك نؤكد على ضرورة الاهتمام بصحة الجهاز العضلي بدءاً من عمر الشباب.

- and free moments in human locomotion". *J Appl Biomech*; 28(6), 665-676.
25. Whittle M. (2007). "Gait analysis an introduction". Butterworth Heinemann Elsevier; 4th ed.
 26. Williams L. R., Standifird T. W., Creer A., Fong H. B., and Powell D. W. (2020) "Ground reaction force profiles during inclined running at iso-efficiency speeds". *J. Biomech*; 113.
 27. Winter D.A. (2009) "Biomechanics and Motor Control of Human Movement",. New York: Wiley, 4th ed pp 117-123.
 28. Winter DA. (1980) "Overall principle of lower limb support during stance phase of gait". *J Biomech*; 13(11): 923-927.
 29. Yamada T., Maie K., Kondo S. (1998) "The characteristics of walking in old men analysed from the ground reaction force". *J. anthrop. Soc. Nippon*; 96(1): 7:15.
 12. Murray MP. (1967) "Gait as a total pattern of movement". *American Journal of physical Medicine*; 46(1): 290-333.
 13. Murray MP., Kory RC., Clarkson BH. (1969) "Walking patterns in healthy old men". *Journal of Gerontology*; 24(2): 169-178.
 14. Nigg BM., Fisher V., Ronsky JL. (1994) "Gait characteristics as a function of age and gender". *Gait and Posture*; 2(4): 213-220.
 15. Nilsson J., Thorstensson A. (1989) "Ground reaction forces at different speeds of human walking and running". *Acta Physiol Scand*; 136(2): 217-227.
 16. Perry J. (1992) "Gait Analysis - Normal and Pathological Function". New jersey: Slack Incorporated.
 17. Prince F., Corriveau H., Hébert R., Winter D. (1997). "Gait in the elderly". *Gait and posture*; 5(2): 128-135.
 18. Rastegar M., Hosein S., Melli M., Taffah M. (2017) "Effects of age and walking speeds on vertical ground reaction force in younger and older adults". *Journal of Rehabilitation*; 17(4): 290-299.
 19. Shumway-Cook A., Woollacott M. (2007) "Motor Control Translating Research into Clinical Practise". Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins. 4th edition
 20. Smart-D motion capture system. User manual English version 1.12. Document number: ERSD1-00220-12. Puhlised December 2008. Copy right BTS S.P.A 2000-2009.
 21. Soares D. P., De Castro M. P., Mendes E. A., and Machado L. (2016) "Principal component analysis in ground reaction forces and center of pressure gait waveforms of people with transfemoral amputation". *Prosthet. Orthot. Int*; 40: 729-738.
 22. Stergiou N., Giakas G., Byrne JB., Pomeroy V. (2002) "Frequency domain characteristics of ground reaction forces during walking of young and elderly females". *Clin Biomech (Bristol, Avon)*; 17: 615-7.
 23. Toda H., Nagano A., and Luo Z. (2015) "Age and gender differences in the control of vertical ground reaction force by the hip, knee and ankle joints". *J Phys Ther Sci*; 27: 1833-8.
 24. Wannop J. W., Worobets J. T., Stefanyshyn D. J. (2012) "Normalization of ground reaction forces, joint moments,