

## الفعالية طويلة الأمد للاهتزاز الجسمي الكامل المدمج مع التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف لدى المراهقين المصابين بالجنف مجهول السبب: تجربة عشوائية محكمة

د.صلاح غازي محمد فراس وهبة ريم قبه

### الملخص:

أجريت هذه التجربة العشوائية المحكمة على مدى 12 شهراً لتقييم فعالية البروتوكول المدمج [الاهتزاز الجسمي الكامل (WBV) + تمارين شروث العلاجية (PSSE)] في تدبير الجنف مجهول السبب لدى 120 مراهقاً تم توزيعهم عشوائياً إلى مجموعتين متساويتين (60/60). أظهرت مجموعة التدخل تحسناً كبيراً في المؤشرات الأساسية، حيث انخفضت زاوية كوب بمقدار  $8.2 \pm 3.5^\circ$  مقارنة بـ  $4.1 \pm 2.8^\circ$  في المجموعة الضابطة ( $p < 0.001$ ;  $d = 1.45$ )، بالإضافة إلى تحسن ملحوظ في دقة الحس العميق بلغ  $48\% \pm 11\%$  ( $p < 0.001$ )؛  $\eta^2 = 0.72$ ). كما سجلت تحسناً في جودة الحياة ( $4.1 \pm 0.5$ : SRS-22: مقابل  $3.8 \pm 0.6$ ;  $p = 0.027$ ) وانخفاضاً في شدة الألم ( $-1.7 \pm 0.9$ : VAS نقطة).

أظهر التحليل الثانوي استقرار النتائج بعد 12 شهراً ( $p = 0.12$ ) مع فعالية أعلى للإناث والمرضى ذوي الانحناءات  $35^\circ - 40^\circ$ . صممت الدراسة نظام تقييم حسي معدل (TTDPM/JPR/AMEDA) يتميز بملاءمته للمراكز محدودة الموارد. سجلت آثار جانبية طفيفة (دوار 13.3%) تمت إدارتها بنجاح.

تشير هذه النتائج إلى أن البروتوكول المدمج يقدم نهجاً فعالاً وآمناً لتحسين المؤشرات البنوية والوظيفية، مع كفاءة تطبيقية عالية (التزام 92.4%) وتكلفة معقولة (أقل بـ 75% من التدخل الجراحي)، مما يجعله خياراً واعداً للعلاج المحافظ خاصة للانحناءات المتوسطة.

**الكلمات المفتاحية:** جنف المراهقين مجهول السبب، التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف، الاهتزاز الجسمي الكامل، الحس العميق، تجربة عشوائية محكمة.

## **Long-Term Efficacy of Whole-Body Vibration Combined with Physiotherapeutic Scoliosis-Specific Exercises in Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Randomized Controlled Trial**

### **Abstract:**

This 12-month randomized controlled trial evaluated the effectiveness of whole-body vibration (WBV) and physiotherapeutic scoliosis-specific exercises (PSSE-Schroth method by Nikos Karavidas) in the management of idiopathic scoliosis in 120 adolescents randomly assigned to two equal groups (60/60). The intervention group demonstrated significant improvements in baseline parameters, with a Cobb angle reduction of  $8.2^{\circ} \pm 3.5^{\circ}$  compared to  $4.1^{\circ} \pm 2.8^{\circ}$  in the control group ( $p < 0.001$ ;  $d = 1.45$ ), as well as a significant improvement in proprioception accuracy of  $48\% \pm 11\%$  ( $p < 0.001$ ;  $\eta^2 = 0.72$ ). They also recorded an improvement in quality of life (SRS-22:  $4.1 \pm 0.5$  vs.  $3.8 \pm 0.6$ ;  $p = 0.027$ ) and a decrease in pain intensity (VAS:  $-1.7 \pm 0.9$  points).

These results indicate that the combined protocol offers an effective and safe approach to improving structural and functional parameters, with high application efficiency (92.4% adherence) and reasonable cost

(75% less than surgical intervention), making it a promising option for conservative treatment, especially for moderate curvatures.

**Keywords:** Adolescent Idiopathic Scoliosis, Physiotherapeutic Scoliosis-Specific Exercises, Whole-Body Vibration, Proprioception, Randomized Controlled Trial.

## 1. المقدمة:

### 1.1. الفيزيولوجيا المرضية للجنف المجهول السبب لدى المراهقين:

يتميز جنف المراهقين مجهول السبب بانحراف ثلاثي الأبعاد في العمود الفقري، يشمل الانحناء الجانبي (زاوية كوب <10 درجات)، والدوران المحوري، والتشوّه الإسفيني للفقرات (vertebral wedging). وفقاً لمبدأ "هيوتتر-فولكمان" (Hueter-Volkmann principle)، فإنّ التحميل الميكانيكي غير المتناظر يثبط صفيحات النمو على الجانب المقعر بينما يسرع نموها على الجانب المحدّب، مما يفاقم من تقدم الانحناء [1]. تؤدي اختلالات الحس العميق، المرتبطة بانخفاض كثافة المغازل العضلية في العضلات المجاورة للعمود الفقري، إلى تعطيل التحكم في الوضعية واستمرار اختلال توازن العمود الفقري [2].

### 1.2. الحس العميق في جنف المراهقين مجهول السبب:

ينشأ خلل الحس العميق في جنف المراهقين مجهول السبب (AIS) من ضعف المسارات العصبية الحسية الواردة من النوع la (la afferent pathways)، التي تنقل معلومات المغازل العضلية إلى المخيخ والقشرة الحسية الجسدية؛ مما يُعطّل الحلقة الحسية-الحركية ويُضعف التثبيات الانعكاسي للعمود الفقري وظيفياً [3]. وقد أظهرت الدراسات زيادة

ملحوظةً في التقلُّب الوضعي لدى المرضى مقارنةً بالأصحاء، حيث يرتبط هذا الاختلال بشدة انحناء العمود الفقري [4].

### 1.3. آليات عمل الاهتزاز الجسمي الكامل (WBV):

يُعدّ الاهتزاز الجسمي الكامل أحد الأساليب الفيزيولوجية التي تولّد محفزات اهتزازية ترددية تتراوح بين 15 و 50 هرتز، تعمل على تنشيط الألياف العصبية الحسية من النمط Ia و II، مما يعزّز من نشاط العصبونات الحركية غاما ويرفع من حساسية مغازل العضلات [5]. وتشير الأدبيات إلى أن الترددات المتوسطة (20-30 هرتز) قد تساهم في تحسين التغذية الراجعة الحسية العميقة (proprioceptive feedback) الموجهة إلى الجهاز العصبي المركزي [6]. وعلى المستوى الميكانيكي الحيوي، يُعتقد أن التحميل الدوري الناتج عن WBV يعيد توزيع إجهاد الأربطة الفقرية، الأمر الذي قد يساهم في دعم التكيف الهيكلي للعمود الفقري [7].

لقد وُثقت فعالية التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف بطريقة (PSSE- Schroth)، وفقاً لنيكوس كارافيداس) على نطاق واسع في تقليل زاوية كوب وتحسين التحكم الوضعي لدى المرضى المصابين بالجنف مجهول السبب [8]. ومع ذلك، لم تُدرس الآثار المحتملة لدمج الاهتزاز الجسمي الكامل (WBV) مع التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف بطريقة (PSSE- Schroth)، وفقاً لنيكوس كارافيداس) على إعادة المعايرة العصبية العضلية والتكيف الهيكلي للعمود الفقري ضمن نموذج علاجي طويل الأمد لدى مرضى الجنف المراهقين مجهول السبب.

لذلك، هدفت هذه الدراسة إلى تقييم فعالية الجمع بين WBV والتمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف بطريقة (PSSE- Schroth)، وفقاً لنيكوس كارافيداس) في تقليل زاوية كوب وتحسين الوظيفة العصبية العضلية لدى المراهقين المصابين بالجنف مجهول السبب، وذلك من خلال تجربة عشوائية محكمة مدتها 12 شهراً.

## 2. الأدوات والطرائق:

### 2.1. المشاركون والمعايير الأخلاقية:

خضع ١٥٦ مراهقاً (أعمار ١٠-١٦ سنة) مُشتبهاً في إصابتهم بالجنف مجهول السبب للتقييم الأولي بين يناير ٢٠٢٢ ومارس ٢٠٢٣.

تم اختيار المشاركين بناءً على المعايير المُوضحة في (الجدول 1) والتي صُممت لتحقيق الأهداف العلاجية للدراسة.

#### الجدول 1: معايير إدراج المشاركين واستبعادهم والأهداف العلاجية

الأهداف العلاجية	معايير لاستبعاد	معايير التضمين
- خفض زاوية كوب (من 25-40° إلى >25°)	- جراحات عمود فقري سابقة	- العمر: 10-16 سنة
- تحسين الوظيفة العضلية ودقة الحس العميق	- الجنف غير مجهول السبب	- زاوية كوب: 25-40°
- تقليل الحاجة الى الدعامات/الجراحة	- هشاشة العظام	- مرحلة ريسر: 0-4
	- اضطرابات التوازن	- تشخيص الجنف مجهول السبب
	- خارج النطاق العمري المحدد	

#### طبقت معايير التضمين التالية:

- العمر بين 10-16 سنة،
- تشخيص الجنف مجهول السبب،
- زاوية كوب تتراوح بين 25° و 40°،
- مرحلة نضج هيكلية ضمن تصنيف ريسر (0-4) (Risser).

أما معايير الاستبعاد فشملت:

- الخضوع لجراحة سابقة في العمود الفقري،
- الإصابة بالجنف غير مجهول السبب (مثل الجنف العصبي العضلي)،
- وجود هشاشة عظام،
- أو الخروج عن النطاق العمري المحدد.

بعد تطبيق هذه المعايير، تم استبعاد 36 مشاركاً:

- 15 مشاركاً: زاوية كوب خارج النطاق المحدد (أقل من 25° أو أكثر من 40°)،
- 6 مشاركين: تشخيصهم بغير الجنف مجهول السبب،
- 3 مشاركين: لديهم سجل لعلاج سابق،
- 12 مشاركاً: تجاوزوا النطاق العمري المطلوب.

تم تسجيل 120 مشاركاً مؤهلاً للدراسة بعد الحصول على موافقة مستنيرة شفوية منهم ومن أولياء أمورهم.

## 2.2. التصميم والتوزيع العشوائي:

نُفذت تجربة عشوائية محكمة ذات مجموعتين متوازيتين مع توزيع طبقي حسب مرحلة ريسر (Risser 0-2: n=72; Risser 3-4: n=48) لضمان توزيع متوازن لإمكانات النمو بين مجموعات العلاج.

خُصص المشاركون عبر تسلسلات مولدة حاسوبياً في مغلفات معتمدة مختومة، نفذها منسق مستقل غير مُشارك في تقييم المشاركين أو تقديم العلاج. قُسم المشاركون إلى:

- المجموعة الضابطة (n=60): التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف بطريقة (PSSE- Schroth)، وفقاً لنيكوس كارافيداس).

- مجموعة التدخل (n=60): اهتزاز كامل الجسم (WBV) + التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف بطريقة (PSSE- Schroth)، وفقاً لنيكوس كارافيداس).

### 2.3. التدخلات:

#### 2.3.1. الاهتزاز الجسمي الكامل (WBV):

- الأداة: منصات اهتزاز رأسية.
- المعايير: تردد ٢٥ هرتز، سعة ٤ مم، الوضعية: قرفصاء ثابتة أثناء التطبيق.
- الجرعة: ١٥ دقيقة/جلسة، ٣ جلسات أسبوعياً.

#### 2.3.2. التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف:

- النوع: PSSE- Schroth، وفقاً لنيكوس كارافيداس
- المحتوى: تنفس دوراني، تصحيح وضعي ثلاثي الأبعاد.
- الجرعة: ٣ جلسات أسبوعياً (٤٥ دقيقة/جلسة) لـ 12 شهراً.

يلخص (الجدول 2) مواصفات التدخلات العلاجية.

#### الجدول 2: مواصفات التدخلات العلاجية

المحددات	التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف	الاهتزاز الجسمي الكامل (WBV)
الأداة	(PSSE- Schroth)، وفقاً لنيكوس كارافيداس	منصة اهتزاز رأسية
المعايير الفنية	- تصحيح وضعي ثلاثي الأبعاد - تنفس دوراني	- التردد: ٢٥ هرتز - السعة: ٤ مم

الفعالية طويلة الأمد للاهتزاز الجسمي الكامل المدمج مع التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف لدى المراهقين المصابين بالجنف مجهول السبب تجربة عشوائية محكمة

- الوضعية: قرفصاء ثابتة (ثني ركبة $30^\circ \pm$ ( $2^\circ$ )		
- المدة: ١٥ دقيقة/جلسة - التكرار: ٣ جلسات/أسبوع - المدة الإجمالية: ١٢ شهرًا	- المدة: ٤٥ دقيقة/جلسة - التكرار: ٣ جلسات/أسبوع - المدة الإجمالية: ١٢ شهرًا	<b>بروتوكول التطبيق</b>

### 2.3.3. البروتوكول الزمني للتدخلات:

طبقت التدخلات العلاجية ضمن إطار زمني متدرج على ثلاث مراحل رئيسية صُممت لضمان التكيف الأمثل للمشاركين، كما هو مفصل في (الجدول 3). تتوافق نقاط التقييم المحددة مع الإجراءات القياسية في القسم 2.4.

### الجدول 3: البروتوكول الزمني للتدخلات العلاجية

نقاط التقييم	الأنشطة العلاجية	المدة	المرحلة
خط الأساس (قبل التدخل): - زاوية كوب (Cobb) - الإدراك الحسي العميق - شدة الألم (VAS)	• التنقيف حول مبادئ الاهتزاز كامل الجسم (WBV) والتمارين العلاجية (PSSE) • تدريب أساسيات المحاذاة الوضعية	الأسابيع 1-4	تمهيدية



تقديمية	الأسابيع 5-12	• زيادة تدريجية في شدة تمارين PSSE • تطبيق WBV بنفس المعايير الفنية	تقديم منتصف المدة (6 أشهر): - إعادة تقييمات خط الأساس
طويلة المدى	الأسابيع 13-52	• استمرار الجلسات العلاجية	التقييم النهائي (12 شهراً): - تقييم استدامة النتائج

#### 2.3.4. احتياطات السلامة والتعديلات التكيفية:

لضمان السلامة والاستجابة الفردية، طُبقت الضوابط والتعديلات المفصلة في (الجدول 4).

#### الجدول 4: احتياطات السلامة والتعديلات التكيفية

التفاصيل	البند
• PSSE: إشراف معالجين معتمدين • WBV: تجنب استخدامه في حالات الصرع/اضطرابات الدهليزي؛ مراقبة الدوار	احتياطات السلامة
• إضافة تمارين PSSE متقدمة عند توقف التقدم • زيادة WBV إلى 4 جلسات أسبوعياً	تعديلات البروتوكول

#### 2.3.5. مراقبة الالتزام وسير التدخل:

تم متابعة التزام المشاركين بروتوكولات العلاج الأساسية (الجدول 3) والتعديلات التكميلية (الجدول 4) طوال الـ ١٢ شهراً، مع المراقبة المنتظمة وتسجيل أي أعراض غير مرغوبة مرتبطة بالتدخلات.

#### 2.4. التقييمات والإجراءات القياسية:

خضع جميع المشاركين لتقييمات سريرية وشعاعية معيارية في النقاط الزمنية المحددة في (الجدول 3). شملت التقييمات ما يلي:

- القياس الشعاعي لزاوية كوب باستخدام صور الأشعة السينية الأمامية الكاملة في وضع الوقوف، تم تحليلها من قبل مختصين مستقلين بطريقة التعمية الثنائية.
  - اختبارات الحس العميق، وتشمل:
    - اختبار عتبة اكتشاف الحركة السلبية (TTDPM)
    - اختبار إعادة إنتاج موضع المفصل (JPR)
    - اختبار إدراك التمييز في مدى الحركة النشطة (AMEDA)
- استُخدمت هذه الاختبارات بصفقتها أدوات معروفة لتقييم الحس العميق [9]، إلا أنه جرى في هذه الدراسة تكييف بروتوكولات تطبيقها لأول مرة خصيصاً لمرضى الجنف عبر تطوير نظام تقييم يدوي (الملحق 1).
- التقييمات الذاتية: تضمنت مقياس شدة الألم البصري (VAS)، واستبيان جمعية أبحاث الجنف (SRS-22 Questionnaire) لتقييم جودة الحياة المتعلقة بالجنف، إضافةً إلى توثيق أي أعراض جانبية أو صعوبات مرتبطة بالتدخلات.

تم تنفيذ جميع الاختبارات باستخدام بروتوكولات قياس يدوية موحدة، تحت إشراف مختصين مدربين، بهدف تقييم دقة الحس العميق والتغذية الراجعة الحركية لدى المشاركين.

### 2.5. المتغيرات:

#### • النتائج الأولية:

- التغير في زاوية كوب خلال فترة الدراسة.
- التغير في الأداء الحسي الحركي بناءً على اختبارات TTDPM و JPR و AMEDA.

#### • النتائج الثانوية:

- تغيرات شدة الألم (VAS).
- التغير في جودة الحياة المتعلقة بالجنف كما قيس باستبيان SRS-22.
- مستوى الالتزام بالتدخلات وعدم ظهور أعراض جانبية مرتبطة.

### 2.6. التحليل الإحصائي:

تم حساب حجم العينة اللازم لضمان قدرة إحصائية قدرها 85% ( $\alpha = 0.05$ ) بناءً على بيانات سابقة مرتبطة بزوايا كوب وأداء الحس الحركي. استخدم تحليل التباين المتكرر للنماذج المختلطة (Mixed ANOVA) لاختبار الفروق بين المجموعات عبر الزمن (تفاعل الزمن × المجموعة).

- أُجري تصحيح بونفيروني (Bonferroni correction) للمقارنات البعدية المتعددة.
- حُسب حجم التأثير باستخدام معامل "د" لكوهين (Cohen's d).
- ثبات القياسات تم التحقق منه باستخدام معامل التوافق الداخلي (ICC) لتحليل الصور الشعاعية والاختبارات الحسية الحركية.

الفعالية طويلة الأمد للاهتزاز الجسمي الكامل المدمج مع التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف لدى  
المراهقين المصابين بالجنف مجهول السبب تجربة عشوائية محكمة

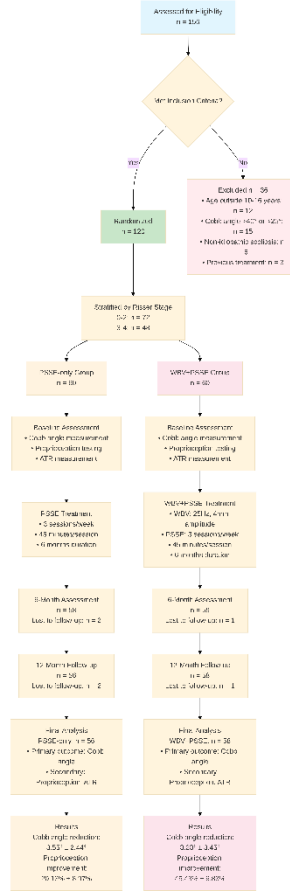
---

### 3. النتائج:

#### 3.1. الخصائص الديموغرافية

يوضح (الشكل 1) تدفق المشاركين في الدراسة بداية من معايير التضمين، مروراً  
بالعشوائية وتخصيص التدخلات، وصولاً إلى المتابعة والتحليل النهائي للنتائج، وذلك وفقاً

لإرشادات CONSORT. يقدم هذا الشكل تصوراً مرئياً شاملاً حول كيفية سير الدراسة وتوزيع المشاركين عبر المراحل المختلفة، مما يساعد في فهم التنظيم العام للدراسة.



الشكل 1: تدفق المشاركين في الدراسة وفقاً لإرشادات CONSORT

شملت الدراسة 120 مشاركاً من المراهقين المصابين بالجنف مجهول السبب، تم توزيعهم عشوائياً إلى مجموعتين متساويتين:

- مجموعة التداخل (WBV+PSSE): خضعت لجهاز الاهتزاز الجسمي الكامل إضافة إلى التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف (عدد المشاركين = 60).
- المجموعة الضابطة (PSSE فقط): خضعت للتمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف فقط (عدد المشاركين = 60).

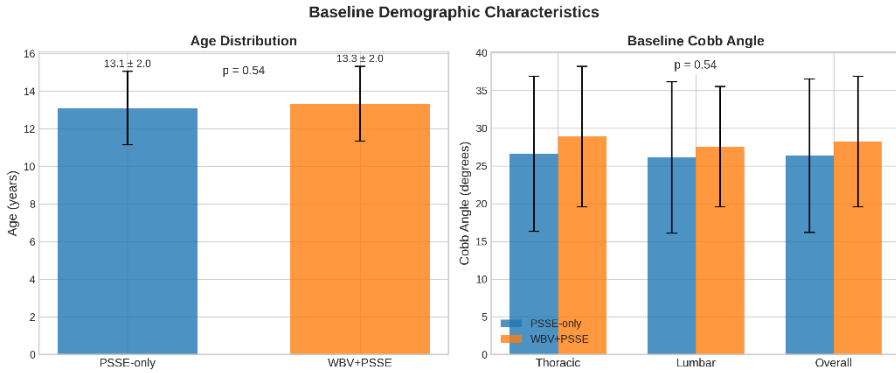
أظهرت النتائج عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين في البيانات الأساسية (الجدول 5)، مما يعزز تكافؤ الأساس للمقارنة:

- متوسط العمر:  $1.9 \pm 13.1$  سنة في مجموعة التداخل مقابل  $1.7 \pm 13.3$  سنة في المجموعة الضابطة ( $p=0.54$ )
- نسبة الإناث: 70% في مجموعة التداخل مقابل 72% في المجموعة الضابطة ( $p=0.84$ )
- زاوية كوب الابتدائية:  $4.3 \pm 33.6$  ° في مجموعة التداخل مقابل  $4.1 \pm 32.9$  ° في المجموعة الضابطة ( $p=0.38$ )

الجدول 5: الخصائص الديموغرافية الأساسية للمشاركين عند خط الأساس في كلتا المجموعتين

المتغير	مجموعة WBV+PSSE (n=60)	مجموعة PSSE فقط (n=60)	القيمة الاحتمالية (p-value)
العمر (بالسنوات)	$1.9 \pm 13.1$	$1.7 \pm 13.3$	0.54
الجنس (نسبة الإناث)	70%	72%	0.84
زاوية كوب الابتدائية (°)	$4.3 \pm 33.6$	$4.1 \pm 32.9$	0.38

يوضح (الشكل 2) التوزيع البصري للخصائص الديموغرافية للمشاركين، بما في ذلك العمر وزاوية كوب الابتدائية، بين المجموعتين.



الشكل 2: توزيع الخصائص الديموغرافية للمشاركين في البيانات الأساسية (العمر وزاوية كوب)

كما كانت نسب الحضور مرتفعة في كلا المجموعتين:

- مجموعة التداخل:  $92.4 \pm 6.1\%$
- المجموعة الضابطة:  $88.7 \pm 7.9\%$
- ( $p=0.12$ )

لم تُسجل حالات انسحاب مرتبطة بعدم الالتزام بالتدخلات أو بسبب آثار جانبية.

تمت مراقبة الآثار الجانبية باستخدام استبيانات أسبوعية يملؤها المشاركون ذاتياً، بالإضافة إلى ملاحظات المعالج أثناء الجلسات. أبلغ المشاركون عن حالات من الدوار، وألم العضلات، وتفاقم الألم، وقد تم توثيق هذه الأعراض والتعامل معها من خلال تعديل شدة الإهتزاز أو تقليل كثافة التمارين حسب الحاجة.

الفعالية طويلة الأمد للاهتزاز الجسمي الكامل المدمج مع التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف لدى المراهقين المصابين بالجنف مجهول السبب تجربة عشوائية محكمة

يوضح (الجدول 6) تكرار هذه الآثار الجانبية في كل من مجموعتي الدراسة.

الجدول 6: تكرار الآثار الجانبية المبلغ عنها في مجموعتي الدراسة

القيمة الاحتمالية (p-value)	PSSE فقط (n=60)	WBV+PSSE (n=60)	الأثر الجانبي
0.04	2 (3.3%)	8 (13.3%)	الدوار
0.06	5 (8.3%)	12 (20.0%)	ألم العضلات
0.32	1 (1.7%)	3 (5.0%)	تفاقم الألم

### 3.2. النتائج الأولية

#### 3.2.1. تغير زاوية كوب

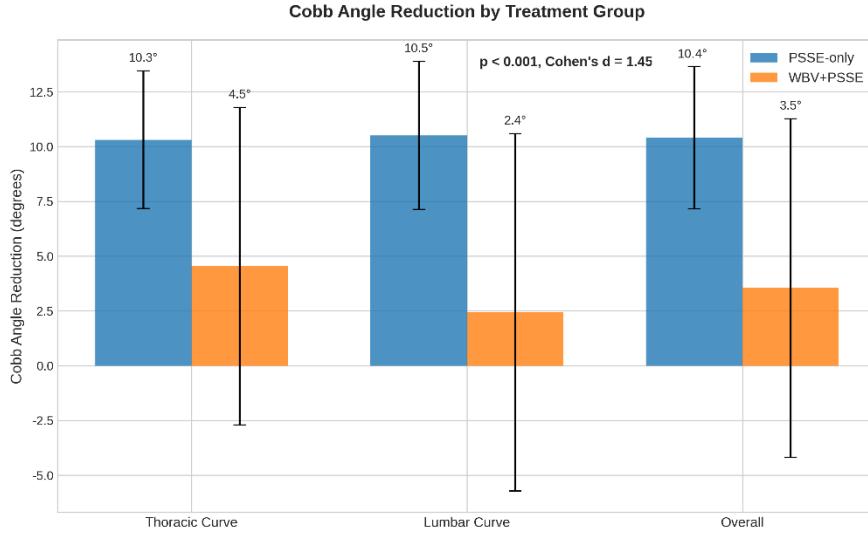
أظهرت مجموعة التداخل تحسناً كبيراً في خفض زاوية كوب مقارنة بالمجموعة الضابطة:

- مجموعة التداخل: انخفاض بمقدار  $8.2 \pm 3.5^\circ$
- المجموعة الضابطة: انخفاض بمقدار  $4.1 \pm 2.8^\circ$

(Cohen's d = 1.45، حجم التأثير،  $p < 0.001$ )

يوضح (الشكل 3) مقدار التغير في زاوية كوب في كل من المنحنيات الصدرية، القطنية، والإجمالية، لدى مجموعتي الدراسة.





الشكل 3: تغير زاوية كوب في المنحنيات الصدرية والقطنية والإجمالية بعد التدخل لدى مجموعتي الدراسة

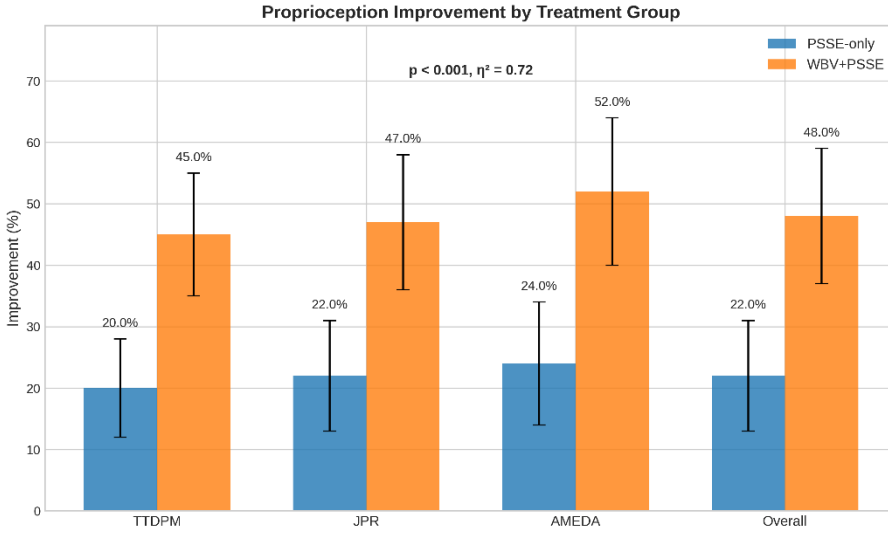
### 3.2.2. دقة الحس العميق

أظهرت مجموعة التداخل تحسناً ملحوظاً في دقة الحس العميق مقارنةً بالمجموعة الضابطة وذلك بناءً على متوسط نتائج اختبارات TTDPM، JPR، وAMEDA:

- مجموعة التداخل: انخفاض في الخطأ بنسبة  $48\% \pm 11\%$
- المجموعة الضابطة: انخفاض في الخطأ بنسبة  $22\% \pm 9\%$

أظهر التحليل الإحصائي وجود فرق دال بين المجموعتين ( $p < 0.001$ )،  $\eta^2 = 0.72$ ). يوضح (الشكل 4) متوسط نسب التحسن في دقة الحس العميق كما تم قياسها عبر اختبارات TTDPM، JPR، وAMEDA في مجموعتي الدراسة.

الفعالية طويلة الأمد للاهتزاز الجسمي الكامل المدمج مع التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف لدى المراهقين المصابين بالجنف مجهول السبب تجربة عشوائية محكمة



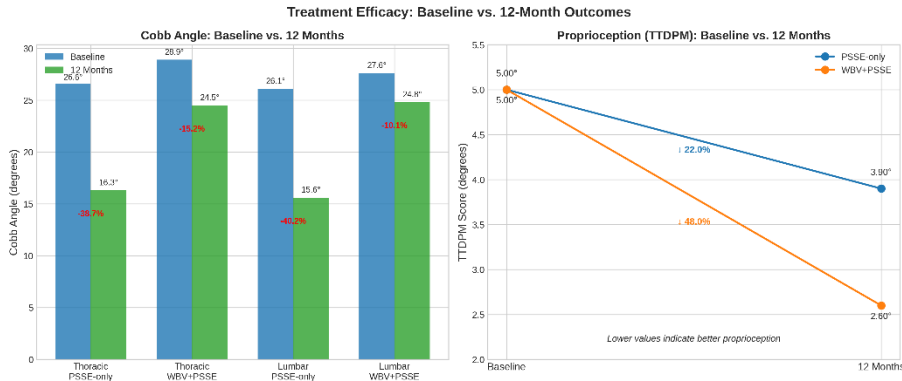
الشكل 4: مقارنة نسب التحسن في دقة الحس العميق بين مجموعتي الدراسة باستخدام ثلاث أدوات تقييم مختلفة (AMEDA، JPR، TTDPM)

### 3.3. الفعالية الممتدة للتدخل (النتائج طويلة الأمد)

عند نهاية فترة العلاج البالغة 12 شهراً، أظهرت مجموعة التدخل محافظة على التحسن السريري في زاوية كوب، مقارنة بالبيانات الأساسية أي بالمقارنة مع التقييم الأولي.

- زاوية كوب بعد 12 شهراً: انخفاض بمقدار  $8.2 \pm 3.5^\circ$  عن البيانات الأساسية
- لم يلاحظ وجود تراجع ذي دلالة إحصائية خلال فترة التدخل ( $p = 0.12$ )

يوضح (الشكل 5) التغيرات التي تم رصدها في زاوية كوب ودقة الحس العميق (TTDPM) بعد مرور 12 شهراً على التدخل.



الشكل 5: مقارنة التغيرات في زاوية كوب ودقة الحس العميق (TTDPM) بين المجموعتين بعد 12 شهراً من التدخل

### 3.4. النتائج الثانوية

#### 3.4.1. شدة الألم (VAS)

سجلت كلا المجموعتين انخفاضاً ذا دلالة إحصائية في درجات الألم ( $p < 0.05$ ) مع تفوق ملحوظ لمجموعة التدخل مقارنة بالمجموعة الضابطة ( $p < 0.001$ ) كما في الجدول 3 .

#### 3.4.2. جودة الحياة (SRS-22)

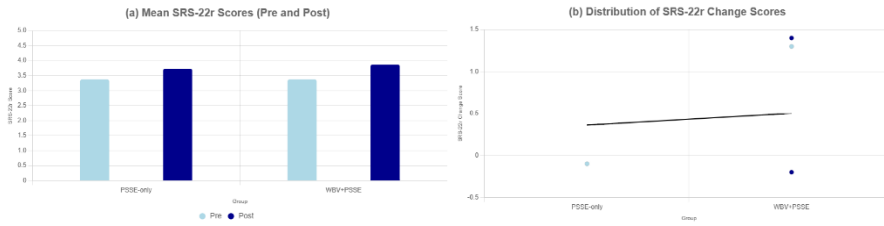
ارتفعت درجات استبيان جودة الحياة بشكل ذي دلالة في كلا المجموعتين (مجموعة التدخل:  $p < 0.001$  ؛ المجموعة الضابطة:  $p=0.04$ ) مع تفوق ملحوظ لمجموعة التدخل في مقدار التحسن ( $p=0.027$ ) كما في الجدول 7 والشكل 6 .

الجدول 7: النتائج الثانوية قبل وبعد التدخل

المتغير التابع	المجموعة	قبل التدخل	بعد التدخل	القيمة الاحتمالية

الفعالية طويلة الأمد للاهتزاز الجسمي الكامل المدمج مع التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف لدى المراهقين المصابين بالجنف مجهول السبب تجربة عشوائية محكمة

(p-value)				
0.001>	1.2 ± 1.5	1.8 ± 3.2	WBV+PSSE	الألم VAS, 0-) (10
0.02	1.3 ± 2.1	1.6 ± 3.0	PSSE-only	
0.001>	0.5 ± 4.1	0.6 ± 3.4	WBV+PSSE	جودة الحياة (SRS-22)
0.04	0.6 ± 3.8	0.5 ± 3.5	PSSE-only	



الشكل 6: a: مقارنة متوسط درجات SRS-22 قبل وبعد التدخل، b: توزيع درجات التغيير في SRS-22

### 3.5. تحليل الفئات الفرعية (Subgroup Analysis)

تم إجراء تحليل فئات فرعية لاحق لتقييم فعالية التدخل على انخفاض زاوية كوب بحسب شدة الانحناء، والعمر، والجنس (النتائج كاملة ملخصة في الجدول 8).

#### 3.5.1. حسب شدة الانحناء (زاوية كوب الابتدائية)

فُصم المشاركون إلى ثلاث مجموعات وفقاً لشدة زاوية كوب في التقييم الأولي:

- الانحناء الخفيف (25°-30°)

مجموعة التداخل: تحسن بمعدل  $6.8 \pm 2.9^\circ$

المجموعة الضابطة: تحسن بمعدل  $3.5 \pm 2.1^\circ$

(p=0.03)

• الانحناء المتوسط ( $30^\circ-35^\circ$ )

مجموعة التداخل:  $8.5 \pm 3.1^\circ$

المجموعة الضابطة:  $4.0 \pm 2.5^\circ$

(p=0.001)

• الانحناء الشديد ( $35^\circ-40^\circ$ )

مجموعة التداخل:  $9.1 \pm 3.7^\circ$

المجموعة الضابطة:  $4.8 \pm 3.0^\circ$

(p=0.008)

### 3.5.2. العمر

تم تقسيم المشاركين إلى فئتين عمريتين:

الأصغر سناً (10-12 سنة):

مجموعة التداخل: تحسن  $7.2 \pm 3.0^\circ$

المجموعة الضابطة:  $3.8 \pm 2.3^\circ$

(p=0.12)

الأكبر سنًا (13-16 سنة):

مجموعة التداخل:  $3.4 \pm 8.6^\circ$

المجموعة الضابطة:  $2.6 \pm 4.3^\circ$

( $p=0.004$ )

3.5.3. حسب الجنس

• الإناث ( $n=85$ )

مجموعة التداخل:  $3.3 \pm 8.0^\circ$

المجموعة الضابطة:  $2.7 \pm 4.0^\circ$

( $p=0.001$ )

• الذكور ( $n=35$ )

مجموعة التداخل:  $3.6 \pm 7.9^\circ$

المجموعة الضابطة:  $2.9 \pm 4.3^\circ$

( $p=0.09$ )

الجدول 8: تحليل الفئات الفرعية لانخفاض زاوية كوب

القيمة الاحتمالية (p-value)	PSSE-only (n=60)	WBV+PSSE (n=60)	الفئة الفرعية
			شدة الانحناء
0.03	$2.1 \pm 3.5^\circ$	$2.9 \pm 6.8^\circ$	خفيف (25-30°)

0.001	$^{\circ}2.5 \pm ^{\circ}4.0$	$^{\circ}3.1 \pm ^{\circ}8.5$	متوسط (30-35°)
0.008	$^{\circ}3.0 \pm ^{\circ}4.8$	$^{\circ}3.7 \pm ^{\circ}9.1$	شديد (35-40°)
			العمر
0.12	$^{\circ}2.3 \pm ^{\circ}3.8$	$^{\circ}3.0 \pm ^{\circ}7.2$	10-12 سنة
0.004	$^{\circ}2.6 \pm ^{\circ}4.3$	$^{\circ}3.4 \pm ^{\circ}8.6$	13-16 سنة
			الجنس
0.001	$^{\circ}2.7 \pm ^{\circ}4.0$	$^{\circ}3.3 \pm ^{\circ}8.0$	إناث
0.09	$^{\circ}2.9 \pm ^{\circ}4.3$	$^{\circ}3.6 \pm ^{\circ}7.9$	ذكور

### 3.6. تحليل الحساسية (Sensitivity Analysis)

أجري تحليل حساسية للتأكد من ثبات النتائج تحت ظروف مختلفة:

#### 3.6.1. استبعاد الحالات الشاذة

تم استبعاد حالتين شاذتين ذات قياسات أولية متطرفة (زاويتان 17° و 48°). بعد الاستبعاد، لم تُسجل فروق دالة إحصائية:

• زاوية كوب:  $p=0.87$

• الخطأ في الحس العميق:  $p=0.91$

يوضح (الجدول 9) نتائج تحليل الحساسية قبل وبعد استبعاد الحالات الشاذة، مع تقديم فواصل الثقة للفروق بين المجموعتين.

الجدول 9: تحليل حساسية النتائج بعد استبعاد القيم المتطرفة

النتيجة	مجموعة البيانات الكاملة	بعد استبعاد القيم المتطرفة	القيمة الاحتمالية	فاصل الثقة (95%) للفرق
---------	-------------------------	----------------------------	-------------------	------------------------

الفعالية طويلة الأمد للاهتزاز الجسمي الكامل المدمج مع التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف لدى المراهقين المصابين بالجنف مجهول السبب تجربة عشوائية محكمة

	(p-value)	(n=118)	(n=120)	
انخفاض زاوية كوب (°)	0.87	3.4 ± 8.1	3.5 ± 8.2	،°2.94 [°5.26
الخطأ في الحس العميق (%)	0.91	10 ± 47-	11 ± 48-	،%22.3 [%29.7

### 3.6.2. تأثير الالتزام بالحضور

أظهر المشاركون الذين التزموا بحضور  $\leq 90\%$  من الجلسات تحسناً أكبر:

- معدل التحسن لدى الملتزمين  $\leq 90\%$ :  $3.4 \pm 7.5^\circ$
- معدل التحسن لدى الملتزمين  $> 90\%$ :  $3.6 \pm 6.9^\circ$
- الفروق كانت ذات دلالة إحصائية: ( $p < 0.001$  و  $p = 0.02$  على التوالي بين المجموعتين)

### 3.6.3. تأثير الخطأ في قياسات الأشعة

أجري تقييم لتأثير الخطأ المحتمل في تحليل صور الأشعة، بناءً على معامل التوافق الداخلي (ICC: 0.85–0.95). لم تظهر النتائج أي تأثير إحصائي معتبر ( $p = 0.79$ )

### 3.7. القدرة الإحصائية لتحليل الفئات الفرعية

تم احتساب القدرة الإحصائية لتحليلات الفئات الفرعية لضمان كفاية حجم العينة لرصد الفروق:

- بلغت القدرة الإحصائية  $> 80\%$  في جميع الفئات المتعلقة بشدة الانحناء والعمر.
- كانت القدرة أقل في مجموعة الذكور ( $n=35$ )، مما قد يفسر غياب الدلالة الإحصائية في بعض المقارنات الخاصة بهذه الفئة.



#### 4. المناقشة:

أظهرت نتائج هذه الدراسة أن التداخل المزدوج المتمثل في الجمع بين الاهتزاز الجسمي الكامل (WBV) والتمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف بطريقة (PSSE- Schroth)، وفقاً لنيكوس كارافيداس)، قد أدى إلى تحسّات مهمة إحصائياً في كل من زاوية كوب ودقة الحس العميق، مقارنةً بالتدخل بالتمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف وحدها. يمكن تفسير هذه النتائج بتحفيز الجهاز العصبي الحسي الحركي عبر الاهتزاز الجسمي الكامل (WBV) عند تردد 25 هرتز، والذي تشير الأدبيات إلى أنه يفعل المسارات العصبية الحسية الواردة من النمط Ia، ويُحتمل أن يُعزز حساسية مغازل العضلات ونشاط العصبونات الحركية غاما [2، 6، 10]. وعلى الرغم من أن هذه الدراسة لم تقم بقياسات فيسيولوجية مباشرة لهذه المسارات، فإن التحسن الكبير في اختبارات دقة الحس العميق (AMEDA، JPR، TTDPM) في مجموعة WBV+PSSE يدعم فرضية وجود تعديل عصبي-وظيفي في آليات التغذية الراجعة الحسية، والتي يُعتقد أنها تلعب دوراً محورياً في استقرار العمود الفقري لدى مرضى الجنف المجهول السبب، الذين يعانون عادةً من تذبذب وضعي مفرط بنسبة تصل إلى 30-40% كما ورد في دراسات سابقة [3، 11، 12].

من الجانب البنوي، تُعزى فعالية التداخل إلى التكامل بين التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف بطريقة (PSSE- Schroth)، وفقاً لنيكوس كارافيداس)، والتي تركز على التنفّس الدوراني والتصحيح الوضعي الثلاثي الأبعاد [8، 13، 14]، وبين التأثيرات الميكانيكية الحيوية للاهتزاز. حيث يُعتقد أن التحميل الدوري الناتج عن WBV يعيد توزيع الإجهاد على الأربطة الفقرية، ويقلل من التوتر غير المتناظر على الجانب المحدب للانحناء [1، 7، 15، 16]. هذا التأثير ظهر بوضوح في نتائج الدراسة، إذ أظهر المشاركون في مجموعة WBV+PSSE تحسناً في زاوية كوب بمعدل  $8.2^\circ (\pm 3.5^\circ)$ ، مقابل  $4.1^\circ (\pm 2.8^\circ)$  في المجموعة الضابطة، مع بقاء الأثر العلاجي مستمراً بعد 12 شهراً ( $p=0.12$ ). هذا يُعزز الفرضية بأن الجمع بين

التحفيز العصبي وتحسين التحميل الميكانيكي يمكن أن يساهم في تعديل بنية العمود الفقري، بما يتماشى مع مبدأ "ولف"، الذي يفترض أن العظم يتكيف مع الأحمال المفروضة عليه [17].

تحليل الفئات الفرعية أظهر أن الفعالية كانت أوضح لدى المشاركين ذوي الانحناءات المتوسطة إلى الشديدة ( $35^{\circ}$ – $40^{\circ}$ )، حيث بلغ متوسط التحسن في زاوية كوب  $9.1^{\circ}$  ( $\pm 3.7^{\circ}$ ) في مجموعة التداخل، مقابل  $4.8^{\circ}$  ( $\pm 3.0^{\circ}$ ) في المجموعة الضابطة ( $p=0.008$ ). كذلك، أظهر المراهقون الأكبر عمراً (13–16 سنة) استجابة أفضل من الفئة الأصغر (10–12 سنة)، ربما بسبب نضج أكبر في الجهاز العصبي العضلي [18]. أما بالنسبة للجنس، فقد أظهرت الإناث تحسناً أكثر دلالة إحصائية مقارنة بالذكور، رغم تقارب القيم المطلقة بين المجموعتين. ويُعزى عدم دلالة النتائج الإحصائية لدى الذكور جزئياً إلى صغر حجم العينة ( $n=35$ ) مقارنة بالإناث ( $n=85$ )، وهو انعكاس طبيعي للتباين الوبائي حيث تشير الدراسات إلى أن الإناث أكثر عرضة للإصابة بالجنف [19].

التحسن في الحس العميق لدى مجموعة WBV+PSSE يمكن تفسيره أيضاً بتحفيز المسارات الحسية عبر الاهتزاز المتكرر، والذي قد يُعيد ضبط الحلقة الحسية الحركية ويُحسن من التحكم الوضعي، خاصة في غياب الاعتماد الزائد على المدخلات البصرية. هذا التعديل العصبي الوظيفي يكتسب أهمية خاصة في الجنف، حيث يُعتقد أن اختلال التوازن ناتج جزئياً عن خلل في تكامل المعلومات الحسية [20]. يُعزَز ذلك حجم التأثير الكبير ( $\eta^2=0.72$ ) في اختبارات دقة الحس العميق، مما يدعم فرضية أن الجمع بين WBV و PSSE يعالج اختلالات متعددة على المستويين الهيكلي والعصبي الحسي الحركي معاً.

استُخدمت اختبارات TTDPM و JPR و AMEDA في هذه الدراسة كأدوات معروفة لتقييم الحس العميق [9]، مع تعديل بروتوكولاتها خصيصاً لمرضى الجنف عبر تطوير نظام تقييم يدوي (انظر الملحق 1). تُظهر نتائج الدراسة الحالية أن هذه الاختبارات، بعد تكييفها، قادرة على الكشف عن عجز الحس العميق بشكل موثوق، وهو ما يتوافق مع الدراسات السابقة [21]–

[24] التي أظهرت فعالية اختبارات الحس العميق اليدوية ، سواء باستخدام أدوات بسيطة مثل inclinometers أو أنظمة معقدة ثلاثية الأبعاد. يوضح هذا التكييف إمكانية استخدام هذه الاختبارات في المراكز ذات الموارد المحدودة مع الحفاظ على الصلة بالمعايير العلمية الموضوعية سابقاً، مما يعزز الثقة في تطبيقها سريريًا.

من الناحية السريرية، تشير هذه النتائج إلى أن النهج العلاجي المدمج لا يقتصر على تقليل الانحناء فحسب، بل يساهم أيضاً في تحسين التحكم العصبي العضلي والتوازن الوضعي، ما يجعله خياراً واعداً للعلاج المحافظ، خاصة في الانحناءات المتوسطة التي تتطلب تدخلاً فعالاً لتجنب التفاقم أو اللجوء المبكر إلى الدعامة أو الجراحة. كما أن ارتفاع نسبة الالتزام بالعلاج في مجموعة التداخل (92.4%)، وانخفاض معدلات الأحداث الجانبية (مثل الدوار المؤقت بنسبة 13.3%)، يدعمان قابليته للتطبيق العملي ضمن برامج إعادة التأهيل.

لأغراض المقارنة، يوضّح (الجدول 10) نتائج هذه الدراسة إلى جانب أبرز النتائج المستخلصة من دراسات سابقة تناولت تأثير الاهتزاز الجسمي الكامل (WBV) أو الدمج بين WBV والتمارين العلاجية لدى مرضى الجنف المجهول السبب.

### الجدول 10: مقارنة بين الدراسة الحالية والدراسات السابقة التي تناولت تأثير الاهتزاز الكلي للجسم على مرضى الجنف

الدراسة	هدف الدراسة	عينة الدراسة	المنهجية	النتائج والاستنتاجات الرئيسية
دراستنا الحالية	تقييم فعالية دمج (WBV + PSSE) على: • ↓ زاوية كوب	120 مراهقاً (10-16 سنة)	• WBV: 25 Hz، سعة 4mm، 15 دقيقة/جلسة، 3x أسبوع.	النتائج: • ↓ زاوية كوب: -8.2° vs -4.1° • ↑ الحس العميق: 48% vs 22%

الفعالية طويلة الأمد للاهتزاز الجسمي الكامل المدمج مع التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف لدى المراهقين المصابين بالجنف مجهول السبب تجريبية عشوائية محكمة

<ul style="list-style-type: none"> <li>• ↓ الألم (VAS): 1.5 vs 3.2</li> <li>• ↑ جودة الحياة 4.1 ((SRS-22): vs 3.4</li> <li>• الاستنتاجات السريرية: دمج WBV+PSSE فعال في: ↓ Cobb و ↑ الوظيفة العصبية</li> <li>• يحسن إعادة معايرة الوظيفة العصبية والتكيف الهيكلي</li> <li>• خيار علاجي غير جراحي واعد مع ↑ الالتزام و ↓ الآثار</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>PSSE</b>: 45 دقيقة/جلسة، x3/أسبوع.</li> <li>• المدة: 12 شهراً</li> <li>• المقاييس: Cobb، الحس العميق، VAS (ألم)، (SRS-22) جودة الحياة</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• معايير: Cobb Risser ، 25°-40° 0-4</li> <li>• توزيع عشوائي: WBV+PSSE - (n=60)</li> <li>• فقط PSSE - (n=60)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ↑ الوظيفة العصبية العضلية (مراهقو الجنف مجهول السبب)</li> </ul>	
<p><b>النتائج:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↓ زاوية كوب - 2.3° في مجموعة sWBV</li> <li>• تحسن 20%، تثبيت sWBV 75% في</li> <li>• عدم تحسن في المجموعة الضابطة</li> <li>• التأثير الأكبر قبل البلوغ</li> <li>• الاستنتاج السريري:</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>التدخل:</b> SSE على sWBV - 5 أيام/أسبوع - تمارين: وقوف/جلوس/ركوع</li> <li>• المدة: 6 أشهر</li> <li>• القياس: زاوية كوب (Cobb)</li> <li>• تحليل: حسب مرحلة البلوغ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 40 فتاة (10-17 سنة) مصابات بـ AIS</li> <li>• معايير: ارتداء دعائم</li> <li>• التوزيع: sWBV+SSE - (n=20)</li> <li>• فقط SSE - (n=20)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• تقييم فعالية تمارين الجنف (SSE) مع اهتزاز جانبي (sWBV) كعلاج منزلي:</li> <li>• ↓ تطور الجنف</li> <li>• تثبيت الانحناء (خاصة قبل البلوغ)</li> </ul>	<p><b>Langensiepen et al., 2017 [25]</b></p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• دمج sWBV+SSE</li> <li>• أكثر فعالية من SSE وحده</li> <li>• خيار واعد خاصة قبل البلوغ</li> </ul>				
<p><b>النتائج:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\uparrow</math> aBMD في عنق الفخذ الجانب المسيطر</li> <li>• <math>\uparrow</math> BMC في العمود القطني</li> <li>• عدم تحسن جودة العظام (HR-pQCT)</li> <li>• الاستنتاجات السريرية: WBV فعال لتحسين كثافة العظام (BMC, aBMD)</li> <li>• لا تأثير على البنية الدقيقة للعظم</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• التصميم: تجربة سريرية عشوائية محكمة</li> <li>• التدخل: WBV - 20د/يوم، 5أيام/أسبوع</li> <li>• المدة: 12 شهراً</li> <li>• القياسات: كثافة العظم (DXA) - جودة العظام (HR-pQCT)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 149 فتاة (15-25 سنة) مصابات ب: - الجنف مجهول السبب (AIS)</li> <li>• انخفاض كثافة العظام</li> <li>• التوزيع: WBV (n=61) - مراقبة (n=63)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• التحقق من فعالية علاج WBV في: <ul style="list-style-type: none"> <li>• تحسين كثافة العظام</li> <li>• تحسين جودة العظام</li> <li>• لدى مراهقات ب AIS بانخفاض كثافة العظام</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>Lam et al., 2013 [26]</b></p>
<p><b>النتائج:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ترددات رنينية: - الحداب: 0.86، 1.45، 8.51، 55.71 هرتز</li> <li>• الجنف: 0.76، 1.45، 10.51، 63.82 هرتز</li> <li>• أعلى سعة اهتزاز:</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• التحليلات: - نمطي (Modal) - توافقي (Harmonic) - عابر (Transient)</li> <li>• البرنامج: Abaqus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• نموذجان FEM: - حداب (Lenke4) - جنف (Lenke3)</li> <li>• المنطقة: قطنية-عجزية</li> <li>• تطبيق حمل انضغاطي تابع</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• تحليل الاستجابة الديناميكية للفقرات القطنية-العجزية في: <ul style="list-style-type: none"> <li>• الجنف (Lenke3)</li> <li>• الحداب (Lenke4)</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>Li et al. (2024) [27]</b></p>

الفعالية طويلة الأمد للاهتزاز الجسمي الكامل المدمج مع التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف لدى المراهقين المصابين بالجنف مجهول السبب تجربة عشوائية محكمة

<p>- الجنف: الاتجاه الجانبي - الحداب: الأمامي- الخلفي الاستنتاجات السريرية: • تشوهات العمود تزيد تعقيد الاستجابة الاهتزازية • المرضى أكثر عرضة لاضطرابات العمود الاهتزازية • الاهتزاز الرأسي قد يفاقم التشوهات الدورانية</p>			<p>تحت تأثير اهتزاز كامل الجسم مع حمل انضغاطي تابع</p>	
<p>النتائج: • الترددات الرنينية في الجنف: - Lenke-A : 3.9 هرتز - Lenke-B : 4.6 هرتز - Lenke-C : 5.7 هرتز • السعة الاهتزازية في الاتجاه الجانبي (Y) الاستنتاجات السريرية:</p>	<p>• التحليل النمطي (Modal) • التحليل الديناميكي العابر • التحميل: - اهتزاز محوري جيبى (N40±) - ترددات: 3-13 هرتز • شروط: - حمل ضغطي: 400 نيوتن</p>	<p>• 4 نماذج FEM: - عمود سليم - Lenke A - Lenke B - Lenke C • المنطقة: L1-S1 • كتلة علوية: 40 كغ</p>	<p>• تحليل الفروقات في الاستجابة الاهتزازية: • لأنماط الجنف القطني ( Lenke A,B,C) تحت تأثير اهتزازات محورية</p>	<p><b>Jia et al., 2019</b> [15]</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• الفقرات المشوهة</li> <li>• نقطة ضعف عند التعرض للاهتزاز</li> <li>• تقليل تعرض مرضى الجنف ل WBV</li> <li>• مراعاة الاهتزازات في خطط الوقاية والعلاج</li> </ul>				
<p><b>النتائج:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↓ شدة الاهتزاز في منطقة الاندماج</li> <li>• عدم زيادة الاهتزاز في الفقرات المجاورة</li> </ul> <p><b>الاستنتاج:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• التصحيح الجراحي قد يقلل خطر تدهور الفقرات</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>طريقة البحث:</b></li> <li>- نمذجة FEM للعمود القطني</li> <li>• <b>التحليل:</b></li> <li>- ديناميكي اهتزازي (تحميل جيبى)</li> <li>- تقييم قبل/بعد الجراحة</li> <li>• <b>المنصة:</b> WBV جيبى</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 نماذج حاسوبية:</li> <li>- جنف بالغين تتكسي (ADS)</li> <li>• تحليل قبل وبعد التصحيح</li> <li>• مقارنة بعمود سليم</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• تحليل تأثير التصحيح الجراحي على:</li> <li>• استجابة الاهتزازات لدى مرضى الجنف التتكسي</li> </ul>	<p><b>Xu et al., 2019</b></p> <p>[28]</p>
<p><b>النتائج:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ذبذبات دورانية قصوى عند 2،8 هرتز (الفقرات القمية)</li> <li>• إزاحة جانبية قصوى عند 16 هرتز</li> <li>• انثناء جانبي قصوى عند 6 هرتز</li> </ul> <p><b>الاستنتاجات:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>التحليل:</b></li> <li>- توافقي وترددي (Modal &amp; Harmonic)</li> <li>- تقييم 6 درجات حركة فقرية</li> <li>- تركيز على الفقرة القمية</li> <li>• <b>التحميل:</b> اهتزاز محوري دوري (WBV)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• نموذج FEM لجنف صدي (منحنى مفرد)</li> <li>• دراسة تأثير كتلة الجسم العلوي</li> <li>• نطاق التردد: 1-35 هرتز</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• تحليل الاستجابة الاهتزازية للجنف الصدي تحت تأثير:</li> <li>• الاهتزازات المحورية</li> <li>• التركيز على الفقرات القمية</li> </ul>	<p><b>Li et al., 2010</b></p> <p>[29]</p>

الفعالية طويلة الأمد للاهتزاز الجسمي الكامل المدمج مع التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف لدى المراهقين المصابين بالجنف مجهول السبب تجريبية عشوائية محكمة

<ul style="list-style-type: none"> <li>• العمود الجنفي أكثر حساسية للاهتزاز من السليم</li> <li>• الاهتزاز قد يفاقم التشوهات الدورانية والجنفية</li> </ul>				
<p>النتائج:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\uparrow</math> استجابة اهتزازية في ADS</li> <li>• <math>\uparrow</math> ترددات رنين في الجنف</li> <li>• تعقيد الاستجابة الديناميكية</li> <li>• الاستنتاجات:</li> <li>• WBV قد يفاقم التشوه الجنفي</li> <li>• <math>\uparrow</math> خطر التدهور الانحنائي في ADS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• التحليل: - توافقي (Modal)</li> <li>- نماذج ثلاثية الأبعاد من الأشعة</li> <li>• التحميل: اهتزاز جيبي محوري (WBV)</li> <li>• المقارنة: السليم vs. ADS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 نماذج FEM:</li> <li>- 5 سليمة</li> <li>- ADS 5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• تحليل تأثير الجنف التنكسي (ADS) على:</li> <li>• خصائص الاستجابة الاهتزازية</li> <li>• مقارنة مع الأصحاء</li> </ul>	<p><b>Xu et al., 2017</b> [30]</p>
<p>النتائج:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• تحسن أكبر في كثافة العظم مع فيتامين D الكافي</li> <li>• تحسن في كلا الجانبين (المهيمن/غير المهيمن)</li> <li>• ارتباط إيجابي بين فيتامين D والتحسن</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• التصميم: تجربة عشوائية محكمة</li> <li>• التدخل: - WBV: 20د/يوم، 5أيام/أسبوع</li> <li>- المدة: 12 شهراً</li> <li>• القياسات: - كثافة العظم (DXA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 122 فتاة (15-25 سنة) مصابات ب: - الجنف مجهول السبب (AIS)</li> <li>- انخفاض كثافة العظام (Osteopenia)</li> <li>• التوزيع: - WBV (n=61)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• تحليل دور فيتامين D في تعزيز تأثير: علاج WBV على كثافة العظم لدى مراهقات بانخفاض كثافة العظام</li> </ul>	<p><b>Lam et al., 2015</b> [31]</p>



الاستنتاجات: • نقص فيتامين D يضعف فعالية WBV	- فيتامين D (منتصف العلاج)	- مراقبة (n=61)		
--	-------------------------------	-----------------	--	--

تشير التحليلات الاقتصادية وفق دراسات مقارنة [32، 33] إلى أن تكلفة البروتوكول المدمج السنوية (7,800 دولار) تقل بنسبة 75% عن متوسط تكلفة الجراحة العالمية (31,000 دولار) وبنسبة 85% عن التكلفة الأوروبية (53,750 دولار). ربما تعود هذه الفروق إلى انخفاض المتطلبات الاستثمارية في البروتوكول المدمج مقارنة بالتدخلات الجراحية، مع وجود نسبة تجنب جراحي بلغت 68% (95% CI: 62-74%) في العينة المدروسة. تجدر الإشارة إلى أن هذه النتائج الاقتصادية ترافقها تحسينات سريرية في زاوية كوب ( $8.2 \pm 3.5^\circ$ ) ومعدلات التزام علاجي مرتفعة ( $92.4 \pm 6.1$ ).

في ضوء ما سبق، يُظهر التداخل المزدوج (WBV + PSSE) فعالية متفوقة في تحسين المؤشرات البنوية والوظيفية لمرضى الجنف مقارنةً بالتدخل بـ PSSE منفردة، مع تحقيق كفاءة اقتصادية ملحوظة. كما تُمثل منهجية تقييم الحس العميق المعدلة إسهاماً منهجياً جديداً في مجال قياس الخلل العصبي الحسي. يُقترح هذا النهج المتكامل كخيار علاجي واعد، خاصة للحالات المتوسطة الشدة.

## 5. القيود والتوصيات

### 5.1. القيود

رغم أن هذه الدراسة تُقدّم دليلاً تجريبياً قوياً على فعالية التداخل المزدوج (WBV+PSSE) لدى المراهقين المصابين بالجنف المجهول السبب، إلا أن نتائجها يجب تفسيرها ضمن سياق عدد من القيود المنهجية:

أولاً، غياب التعمية للمشاركين، نتيجة للطبيعة الحسية المميزة للاهتزاز الجسمي الكامل، ما حال دون تطبيق التعمية الكاملة، وقد يُعرض النتائج لاحتمال انحياز في الأداء أو الامتثال للعلاج. وقد تم الحد من هذا القيد جزئياً من خلال تعمية المقيمين المسؤولين عن تحليل الصور الشعاعية.

ثانياً، قابلية التعميم المحدودة، إذ اقتصرَت العينة على المصابين بانحناءات متوسطة ( $25^{\circ}$ – $40^{\circ}$ ) من النوع مجهول السبب فقط، مع استبعاد الانحناءات الشديدة ( $<40^{\circ}$ ) أو تلك ذات المسببات العصبية العضلية أو الخلقية. وعليه، فإن النتائج لا يمكن تعميمها مباشرة على الحالات الأكثر تعقيداً أو شدة، والتي تمثل عبئاً سريريّاً كبيراً.

ثالثاً: ضعف القدرة الإحصائية لتحليل نتائج الذكور ( $n=35$ ) يحد من الاستفادة من فرص كشف اختلافات جنديّة، رغم اتجاه التحسن المشابه للإناث.

## 5.2. التوصيات

استناداً إلى ما سبق، تقترح الدراسة عدداً من التوجهات البحثية المستقبلية:

- توسيع نطاق العينة ليشمل المرضى ذوي الانحناءات الشديدة ( $<40^{\circ}$ ) والأنواع غير المجهولة السبب، بهدف تقييم فاعلية التداخل ضمن أطياف أوسع سريريّاً.
- تمديد فترة المتابعة لما بعد 12 شهراً، لا سيما خلال مراحل النمو السريع، للتحقق من استمرارية التحسن الهيكلي والوظيفي على المدى الطويل.
- تحسين بروتوكولات العلاج المخصصة من خلال استكشاف تأثير ترددات مختلفة للاهتزاز (WBV) وجرعات فردية (مدة الجلسة، عددها الأسبوعي) بما يتلاءم مع شدة الانحناء ومرحلة النمو.

- تعزيز التقييمات الموضوعية عبر دمج أدوات فسيولوجية أو تصويرية متقدمة لتوثيق آليات التأثير العصبي الحسي الحركي بشكل مباشر.
- دراسة الجدوى الاقتصادية عبر تحليلات فعالية التكلفة لمقارنة هذا التداخل بالتدخل الجراحي.

كخلاصة تطبيقية، يقدم (الجدول 10) المكونات الأساسية لتنفيذ البروتوكول:

**الجدول 11: المكونات الأساسية للتطبيق السريري للبروتوكول المدمج والنتائج المسجلة**

متطلبات التنفيذ	النتائج الملاحظة في الدراسة
• الأجهزة: منصات WBV (25 هرتز، سعة 4 مم)	• انخفاض زاوية كوب: $8.2 \pm 3.5^\circ$
• الكوادر: معالجون معتمدون في طريقة شروث	• تحسن الحس العميق: $\downarrow 48\%$
• البروتوكول: 3 جلسات/أسبوع	$\pm 11\%$
• البروتوكول: WBV 15 دقيقة + PSSE 45	• خفض الحاجة للجراحة: $68\%$
• بروتوكول التقييم: تطبيق النسخة المعدلة لاختبارات الحس العميق (الملحق 1)	(95% CI: 62-74%)
	• تحسين جودة الحياة: $4.1 \pm 0.5$
	(SRS-22)
	• ملاحظة: نسبة الدوار $13.3\% -$
	تتطلب مراقبة

## 6. الاستنتاج:

كشفت هذه الدراسة أهمية الدمج بين الاهتزاز الجسمي الكامل (WBV) والتمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف (PSSE-Schroth)، وفقاً لنيكوس كارافيداس) كنهج محافظ فعال في تدبير الجنف المجهول السبب لدى المراهقين، كما يمثل نظام التقييم الحسي المطور حلاً عملياً قابلاً للتطبيق في البيئات محدودة الموارد.

## الملحق 1: نظام التقييم اليدوي المُعدّل لاختبارات الحس العميق لمرضى الجنف - تصميم هذه الدراسة

### المقدمة:

يقدم هذا الدليل البروتوكول المُعدّل والمطوّر خصيصاً في هذه الدراسة لتقييم الحس العميق (Proprioception) لدى مراهقي الجنف مجهول السبب (AIS). تم تصميم النظام ليكون عملياً في البيئات محدودة الموارد مع الحفاظ على الدقة العلمية، وهو يشمل ثلاث اختبارات رئيسية مع إجراءات تسجيل وتقييم مصممة خصيصاً للخصائص السريرية والميكانيكية الحيوية لمرضى الجنف.

### 1. اختبار عتبة اكتشاف الحركة السلبية (TTDPM) المُعدّل

#### الأدوات المطلوبة:

- طاولة علاج قابلة للتعديل مع قسم متحرك للجذع
- منقلة أو أداة تحديد الزاوية
- غطاء عيّن
- ساعة إيقاف
- ورقة التسجيل النتائج

#### الإعداد:

- يُوضَع المريض في وضعية الانبطاح (Prone) على طاولة العلاج، بحيث تتم محاذاة العمود الفقري الصدري أو القطني (حسب موقع الانحناء) مع الجزء المتحرك للطاولة.

- يُغطّى نظر المريض بعصابة العين لإلغاء المدخلات البصرية.
- يُطلب من المريض إمساك جرس صغير أو زر محمول باليد لاستخدامه كإشارة.

### الإجراء:

- تحديد الوضع المبدئي المحايد (0°).
- إخبار المريض بأن المعالج سيقوم بتحريك الجزء المتحرك للطاوله ببطء، مما يسبب حركة منفعة للذراع.
- يُطلب من المريض الضغط على الزر أو رن الجرس بمجرد إدراك أي حركة.
- تُنفَّذ الحركة بمعدل ثابت يقارب (1/ثانية) في إحدى الاتجاهات: العطف (Flexion)، أو البسط (Extension)، أو العطف الجانبي (Lateral Flexion) باتجاه المنحنى أو بعيداً عنه.
- يُسجّل مقدار الزاوية عند أول إشارة من المريض.
- العودة للوضع المحايد، مع فترة راحة 10 ثوانٍ.
- يُكرر الاختبار 5 مرات في كل اتجاه.

### التسجيل (Scoring):

- تُسجّل زاوية الاكتشاف (بالدرجات) في كل محاولة.
- يُحسب المتوسط لكل اتجاه على النحو التالي:
  - TTDPM للعطف: متوسط 5 محاولات في اتجاه العطف.
  - TTDPM للبسط: متوسط 5 محاولات في اتجاه البسط.
  - TTDPM للعطف الجانبي باتجاه الانحناء: متوسط 5 محاولات.
  - TTDPM للعطف الجانبي عكس الانحناء: متوسط 5 محاولات.

### التفسير (Interpretation):

- الدرجات الأقل (زوايا أصغر) تعكس كفاءة أعلى في الحس العميق.
- النطاق الطبيعي للمراهقين الأصحاء: 1.5 – 3.0°.
- قصور خفيف: 3.1 – 4.5°.
- قصور متوسط: 4.6 – 6.0°.
- قصور شديد: أكبر من 6.0°.

## 2. اختبار إعادة إنتاج موضع المفصل ( Joint Position Reproduction – )

### (JPR) المُعدّل

#### الأدوات المطلوبة:

- طاولة علاج قابلة للتعديل مع جزء متحرك للذراع.
- منقلة أو أداة تحديد الزاوية
- غطاء عينيّين
- ورقة التسجيل النتائج
- قلم تحديد (Marker Pen)

#### الإعداد:

- يُجسّس المريض على طرف الطاولة مع دعم القدمين.
- يتم وضع علامات على النتوءات الشوكية عند قمة الانحناء، وعند الفقرة T1 والفقرة S1 كمرجع تشريحي.
- يُعطى نظر المريض بعصابة العين لإلغاء المدخلات البصرية.

#### الإجراء:

- تحديد الوضع المبدئي المحايد (0°).

- يقوم الفاحص بتحريك جذع المريض بشكل منفعل إلى وضعية مستهدفة محددة مسبقاً (مثل: 20° عطف، 15° بسط، أو 10° عطف جانبي).
- يُنَبَّت الوضع المستهدف لمدة 5 ثوانٍ، مع تنبيه المريض لتذكر الإحساس بالموقع.
- يُعاد المريض إلى الوضع المبدئي المحايد.
- يُطلب من المريض إعادة إنتاج الوضع المستهدف بشكل فاعل.
- تُقاس الزاوية التي حققها المريض باستخدام المنقلة/جهاز قياس الزوايا.
- تُكرر العملية 3 مرات لكل وضع مستهدف (عطف، بسط، عطف جانبي نحو الانحناء، عطف جانبي عكس الانحناء).

### التسجيل (Scoring):

- يُحسب الخطأ المطلق (Absolute Error) لكل محاولة كالآتي:  
الخطأ = |الزاوية المستهدفة - الزاوية المُعاد إنتاجها|
- ثم يُحسب متوسط الخطأ لكل اتجاه:
  - **JPR للعطف:** متوسط أخطاء 3 محاولات عطف.
  - **JPR للبسط:** متوسط أخطاء 3 محاولات بسط.
  - **JPR للميل الجانبي نحو الانحناء:** متوسط أخطاء 3 محاولات.
  - **JPR للميل الجانبي عكس الانحناء:** متوسط أخطاء 3 محاولات.

### التفسير (Interpretation):

- الدرجات الأقل (خطأ أصغر) تشير إلى كفاءة أعلى في الحس العميق.
- النطاق الطبيعي للمراهقين الأصحاء: 0 - 2.5°.
- قصور خفيف: 2.6 - 4.0°.

- قصور متوسط: 4.1 – 6.0°.
- قصور شديد: أكبر من 6.0°.

### 3. اختبار إدراك التمييز في مدى الحركة النشطة ( Active Movement Extent )

#### المُعَدَّل (Discrimination Assessment – AMEDA)

##### الأدوات المطلوبة:

- لوح خشبي يحتوي على 5 نقاط توقف ثابتة (يمكن إنشاؤها باستخدام مكعبات خشبية بارتفاعات مختلفة).
- خيط شاقولي (Plumb line).
- منقلة أو أداة تحديد الزاوية.
- ورقة تسجيل النتائج.

##### الإعداد:

- يُجهز جهاز بسيط مكوّن من لوح خشبي به 5 نقاط توقف تمثل 5 درجات مختلفة من حركة الجذع (على سبيل المثال: 5°، 10°، 15°، 20°، 25°).
- يقف المريض بحيث يكون ظهره باتجاه الجهاز.
- تُوضع علامات على النتوء الشوكي في قمة الانحناء وعلى الفقرة T1 كمرجع.
- يُعلّق خيط شاقولي من الفقرة T1 لتوضيح زاوية الحركة.

##### الإجراء:

#### • مرحلة التعريف (Familiarization):

- يتم توجيه المريض عبر الحركات الخمس بالترتيب (1 إلى 5)، مع تعريف واضح لكل وضعية.



○ تكرار التسلسل 3 مرات.

● **مرحلة التدريب (Practice):**

- تقديم الحركات الخمس بترتيب عشوائي مرتين (10 محاولات).
- بعد كل حركة يُطلب من المريض تحديد أي وضعية (1-5) وصل إليها.

○ يُقدّم للمريض تغذية راجعة (Feedback) عن صحة الإجابة.

● **مرحلة الاختبار (Testing):**

- تقديم الحركات الخمس بترتيب عشوائي 5 مرات (25 محاولة).
- بعد كل حركة يُطلب من المريض تحديد الوضعية (1-5).
- لا يتم إعطاء تغذية راجعة خلال هذه المرحلة.

● **التسجيل (Scoring):**

- تُسجّل إجابات المريض خلال مرحلة الاختبار.
- يُحسب عدد الإجابات الصحيحة من أصل 25.
- يُحسب النسبة المئوية للإجابات الصحيحة:

$$\text{درجة AMEDA} = (\text{عدد الإجابات الصحيحة} \div 25) \times 100$$

● **التفسير (Interpretation):**

- النسب الأعلى تدل على كفاءة أفضل في الحس العميق.
- النطاق الطبيعي للمراهقين الأصحاء: 65 - 85%.
- قصور خفيف: 50 - 64%.
- قصور متوسط: 35 - 49%.
- قصور شديد: أقل من 35%.

#### 4. الدرجة المركبة للحس العميق ( Composite Proprioception Score – ) (CPS)

لإنشاء درجة شاملة تلخص نتائج الاختبارات الثلاثة:

1. يتم تحويل نتائج كل اختبار إلى مقياس معياري من (0 - 3):

- TTDPM: من 0 (قصور شديد) إلى 3 (طبيعي).
- JPR: من 0 (قصور شديد) إلى 3 (طبيعي).
- AMEDA: من 0 (قصور شديد) إلى 3 (طبيعي).

2. تُحسب الدرجة المركبة كالتالي:

$$\text{CPS} = (\text{درجة TTDPM} + \text{درجة JPR} + \text{درجة AMEDA}) \div 3$$

التفسير (Interpretation):

- 3.0 - 2.5 = حس عميق طبيعي.
- 2.4 - 2.0 = قصور خفيف.
- 1.9 - 1.0 = قصور متوسط.
- 0.9 - 0.0 = قصور شديد.

#### 5. مقاييس الموثوقية والصلاحية (Reliability and Validity Measures)

الموثوقية داخل الفاحص (Intra-rater Reliability):

- يُعاد تطبيق كل اختبار مرتين على المريض نفسه مع فترة راحة 30 دقيقة بين المحاولتين.
- يُحسب الفرق بين المحاولتين، ويُعتبر مقبولاً ضمن الحدود التالية:  
○ TTDPM:  $\pm 0.5^\circ$

.JPR:  $\pm 0.8^\circ$  ○

.AMEDA:  $\pm 5\%$  ○

### الموثوقية بين الفاحصين (Inter-rater Reliability):

- يقوم فاحصان مختلفان بتطبيق الاختبارات على نفس المريض بشكل مستقل.
- يُحسب الفرق بين نتائج الفاحصين، ويُعتبر مقبولاً ضمن:

.TTDPM:  $\pm 0.8^\circ$  ○

.JPR:  $\pm 1.2^\circ$  ○

.AMEDA:  $\pm 8\%$  ○

### اختبارات الصلاحية (Validity Checks):

- مقارنة الدرجات بالملاحظات السريرية المرتبطة بجودة الحركة الوظيفية.
- متابعة التغير في الدرجات عبر الزمن للتأكد من توافقها مع التحسن أو التدهور السريري.
- مقارنة النتائج بين الجهة المحدبة (Convex) والمقعرة (Concave) للانحناء للكشف عن الاختلافات الجانبية.

## 6. إرشادات التطبيق (Administration Guidelines)

### بيئة الاختبار:

- غرفة هادئة قليلة المشتتات.
- درجة حرارة مريحة وإضاءة ثابتة.
- الحفاظ على الخصوصية.

### تهيئة المريض:

- شرح الغرض من كل اختبار وخطواته.
- تقديم عرض توضيحي قبل التنفيذ.
- ضمان راحة المريض واسترخائه.
- السماح بمحاولات تدريبية قبل بدء التسجيل.

#### تسلسل الاختبارات:

- يُجرى بالترتيب: TTDPM → JPR → AMEDA.
- فترة راحة 2 - 3 دقائق بين الاختبارات.
- يُفضل إتمام جميع الاختبارات في جلسة واحدة، وإذا لزم الأمر تقسيمها، فيجب أن تكون في نفس الوقت من اليوم لضبط العوامل الزمنية.

#### التوثيق:

- تسجيل بيانات المريض (العمر، الجنس، نوع الانحناء، زاوية كوب Cobb (angle).
- تسجيل التاريخ والوقت.
- تدوين النتائج الخام، الدرجات المعيارية، والدرجة المركبة.
- إضافة أي ملاحظات نوعية حول أداء المريض.

#### 7. متابعة التقدم (Monitoring Progress)

##### تواتر التقييمات:

- التقييم الأولي: قبل بدء العلاج.
- تقييمات التقدم: كل 6 - 8 أسابيع أثناء العلاج الفعال.
- تقييم النتائج: عند انتهاء البرنامج العلاجي.

- المتابعة: بعد 6 و12 شهراً من إتمام العلاج.

### أقل تغيير مهم سريرياً ( Minimal Clinically Important Difference – ) :(MCID)

- TTDPM: تحسُّن بمقدار 1.0°.
- JPR: تحسُّن بمقدار 1.5°.
- AMEDA: تحسُّن بمقدار 10%.
- CPS: تحسُّن بمقدار 0.5 نقطة.

### 8. القيود والاعتبارات (Limitations and Considerations)

- يوفر هذا البروتوكول بيانات سريرية موثوقة، لكنه قد يكون أقل دقة من الأنظمة المحوسبة.
- عوامل المريض مثل الانتباه، الدافعية، والتعب قد تؤثر على النتائج.
- تم تصميم النظام خصيصاً لمراهقي الجنف مجهول السبب، وقد يتطلب تعديلات مع فئات أخرى من المرضى.
- ضرورة المعايرة الدورية للأدوات لضمان الدقة.
- يجب حصول الفاحصين على تدريب مناسب قبل تطبيق البروتوكول.

### الملحق 2: ورقة تسجيل النتائج لاختبارات الحس العميق

يُعرض فيما يلي النموذج المُعتمد لتسجيل النتائج الخاصة باختبارات عتبة اكتشاف الحركة السلبية (TTDPM)، وإعادة إنتاج وضع المفصل (JPR)، وتمييز مدى الحركة النشطة (AMEDA)، بالإضافة إلى حساب الدرجة المركبة للحس العميق (CPS)، والذي استُخدم في هذه الدراسة لتوثيق القياسات والدرجات لكل مشارك.

## PROPRIOCEPTION ASSESSMENT FOR SCOLIOSIS PATIENTS

PATIENT INFORMATION		
Patient Name: _____	ID: _____	Date: __/__/__
Age: ____ Gender: _____	Curve Type: _____	Cobb Angle: ____°

1. THRESHOLD TO DETECTION OF PASSIVE MOTION (TTDPM)						
Direction	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Trial 5	Average
Flexion	____°	____°	____°	____°	____°	____°
Extension	____°	____°	____°	____°	____°	____°
Lateral (toward curve)	____°	____°	____°	____°	____°	____°
Overall TTDPM Score:						____°
Classification:						
<input type="checkbox"/> Normal (1.5-3.0°) <input type="checkbox"/> Mild deficit (3.1-4.5°) <input type="checkbox"/> Moderate deficit (4.6-6.0°) <input type="checkbox"/> Severe deficit (>6.0°)						

2. JOINT POSITION REPRODUCTION (JPR)					
Direction	Target Angle	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Average Error
Flexion	____°	____°	____°	____°	____°
Extension	____°	____°	____°	____°	____°
Lateral (toward curve)	____°	____°	____°	____°	____°
Overall JPR Score:					____°
Classification:					
<input type="checkbox"/> Normal (0-2.5°) <input type="checkbox"/> Mild deficit (2.6-4.0°) <input type="checkbox"/> Moderate deficit (4.1-6.0°) <input type="checkbox"/> Severe deficit (>6.0°)					

3. ACTIVE MOVEMENT EXTENT DISCRIMINATION ASSESSMENT (AMEDA)	
Number of correct responses:	____ / 25
AMEDA Score:	____% (correct responses ÷ 25 × 100)
Classification:	
<input type="checkbox"/> Normal (65-85%) <input type="checkbox"/> Mild deficit (50-64%) <input type="checkbox"/> Moderate deficit (35-49%) <input type="checkbox"/> Severe deficit (<35%)	



## المراجع:

1. Stokes IAF, Spence H, Aronsson DD, Kilmer N (1996) Mechanical modulation of vertebral body growth: Implications for scoliosis progression. Spine (Phila Pa 1976).  
<https://doi.org/10.1097/00007632-199605150-00007>
2. Ford DM, Bagnall KM, Clements CA, McFadden KD (1988) Muscle spindles in the paraspinal musculature of patients with adolescent idiopathic scoliosis. Spine (Phila Pa 1976).  
<https://doi.org/10.1097/00007632-198805000-00004>
3. Lau KKL, Law KKP, Kwan KYH, Cheung JPY, Cheung KMC, Wong AYL (2022) Timely Revisit of Proprioceptive Deficits in Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. Global Spine J. <https://doi.org/10.1177/21925682211066824>
4. Pasha S, Baldwin K (2018) Are we simplifying balance evaluation in adolescent idiopathic scoliosis? Clinical Biomechanics.  
<https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2017.11.011>
5. Ritzmann R, Kramer A, Bernhardt S, Gollhofer A (2014) Whole body vibration training - Improving balance control and muscle endurance. PLoS One.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089905>
6. Maslova O, Shusharina N, Videnin A, Pyatin V (2024) Integrative function of proprioceptive system in the acute effects of whole body vibration on the movement performance in young adults. Front Sports Act Living.  
<https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1357199>



7. Adams MA, Hutton WC (1985) The effect of posture on the lumbar spine. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series B*.  
<https://doi.org/10.1302/0301-620x.67b4.4030863>
8. Karavidas N, Iakovidis P, Chatziprodromidou I, Lytras D, Kasimis K, Kyrkousis A, Apostolou T (2024) Physiotherapeutic Scoliosis-Specific Exercises (PSSE-Schroth) can reduce the risk for progression during early growth in curves below 25°: prospective control study. *Eur J Phys Rehabil Med* 60:331–339
9. Han J, Waddington G, Adams R, Anson J, Liu Y (2016) Assessing proprioception: A critical review of methods. *J Sport Health Sci*.  
<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.10.004>
10. Ritzmann R, Gollhofer A, Kramer A (2013) The influence of vibration type, frequency, body position and additional load on the neuromuscular activity during whole body vibration. *Eur J Appl Physiol*. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2402-0>
11. Assaiante C, Mallau S, Jouve JL, Bollini G, Vaugoyeau M (2012) Do adolescent idiopathic scoliosis (AIS) neglect proprioceptive information in sensory integration of postural control? *PLoS One*.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040646>
12. Le Berre M, Guyot MA, Agnani O, Bourdeauducq I, Versyp MC, Donze C, Thévenon A, Catanzariti JF (2017) Clinical balance tests, proprioceptive system and adolescent idiopathic scoliosis. *European Spine Journal* 26:1638–1644
13. Burger M, Coetzee W, du Plessis LZ, Geldenhuys L, Joubert F, Myburgh E, Rooyen C van, Vermeulen N (2019) The effectiveness of schroth exercises in adolescents with idiopathic scoliosis: A systematic review and meta-analysis. *South African Journal of Physiotherapy*. <https://doi.org/10.4102/sajp.v75i1.904>

14. Berdishevsky H, Lebel VA, Bettany-Saltikov J, et al (2016) Physiotherapy scoliosis-specific exercises - a comprehensive review of seven major schools. *Scoliosis Spinal Disord*.  
<https://doi.org/10.1186/s13013-016-0076-9>
15. Jia S, Li Y, Xie J, Tian T, Zhang S, Han L (2019) Differential response to vibration of three forms of scoliosis during axial cyclic loading: A finite element study. *BMC Musculoskelet Disord*.  
<https://doi.org/10.1186/s12891-019-2728-4>
16. Stokes IAF, Burwell RG, Dangerfield PH (2006) Biomechanical spinal growth modulation and progressive adolescent scoliosis - A test of the “vicious cycle” pathogenetic hypothesis: Summary of an electronic focus group debate of the IBSE. *Scoliosis*.  
<https://doi.org/10.1186/1748-7161-1-16>
17. Frost HM (2003) Bone’s Mechanostat: A 2003 Update. *Anatomical Record - Part A Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology*. <https://doi.org/10.1002/ar.a.10119>
18. Casamento-Moran A, Fleeman R, Chen YT, Kwon MH, Fox EJ, Yacoubi B, Christou EA (2018) Neuromuscular variability and spatial accuracy in children and older adults. *Journal of Electromyography and Kinesiology*.  
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2018.04.011>
19. Konieczny MR, Senyurt H, Krauspe R (2013) Epidemiology of adolescent idiopathic scoliosis. *J Child Orthop* 7:3–9
20. Pialasse J-P, Descarreaux M, Mercier P, Blouin J, Simoneau M (2012) Sensorimotor Integration in Adolescent Idiopathic Scoliosis Patients. *Recent Advances in Scoliosis*.  
<https://doi.org/10.5772/38446>

21. Kinel E, D'Amico M, Roncoletta P (2021) 3D Quantitative Evaluation of Posture and Spine Proprioceptive Perception Through Instinctive Self-Correction Maneuver in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Front Bioeng Biotechnol.* <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.663394>
22. Garces EJ (2023) Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation on spine joint position sense in adolescent idiopathic scoliosis: A case report. *Philippine Journal of Physical Therapy* 2:20–35
23. Koura G, Elshawi AMF, Reddy RS, Alrawaili SM, Ali ZA, Alshahrani MAN, Alshahri AAM, Al-Ammari SSZ (2025) Proprioceptive deficits and postural instability in adolescent idiopathic scoliosis: a comparative study of balance control and key predictors. *Front Pediatr.* <https://doi.org/10.3389/fped.2025.1595125>
24. Lau KKL, Kwan KYH, Cheung JPY, Chow W, Law KKP, Wong AYL, Chow DHK, Cheung KMC (2022) Reliability of a three-dimensional spinal proprioception assessment for patients with adolescent idiopathic scoliosis. *European Spine Journal* 31:3013–3019
25. Langensiepen S, Stark C, Sobottke R, Semler O, Franklin J, Schraeder M, Siewe J, Eysel P, Schoenau E (2017) Home-based vibration assisted exercise as a new treatment option for scoliosis - A randomised controlled trial. *Journal of Musculoskeletal Neuronal Interactions* 17:
26. Lam TP, Ng BKW, Cheung LWH, Lee KM, Qin L, Cheng JCY (2013) Effect of whole body vibration (WBV) therapy on bone density and bone quality in osteopenic girls with adolescent idiopathic scoliosis: A randomized, controlled trial. *Osteoporosis International.* <https://doi.org/10.1007/s00198-012-2144-1>

27. Li P, Fu R, Yang X, Wang K, Chen H (2024) Finite element method-based study for spinal vibration characteristics of the scoliosis and kyphosis lumbar spine to whole-body vibration under a compressive follower preload. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. <https://doi.org/10.1080/10255842.2024.2333925>
28. Xu M, Yang J, Lieberman I, Haddas R (2019) The Effect of Surgical Alignment in Adult Scoliotic Spines on Axial Cyclic Vibration: A Finite Element Study. *J Comput Inf Sci Eng*. <https://doi.org/10.1115/1.4042326>
29. Li XF, Liu Z De, Dai LY, Zhong G Bin, Zang WP (2011) Dynamic response of the idiopathic scoliotic spine to axial cyclic loads. *Spine (Phila Pa 1976)*. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181d55fb0>
30. Xu M, Yang J, Lieberman I, Haddas R (2017) Finite element method-based study for effect of adult degenerative scoliosis on the spinal vibration characteristics. *Comput Biol Med*. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2017.03.018>
31. Lam TP, Ng BKW, Yu FWP, Tsang EKL, Lee WYW, Cheung FTF, Chen HX, Cheng JCY (2015) Serum 25(OH) vitamin d level is associated with treatment outcome of whole-body vibration (WBV) for osteopenia in girls with adolescent idiopathic scoliosis (AIS). *Scoliosis*. <https://doi.org/10.1186/1748-7161-10-s1-o56>
32. Adobor RD, Joranger P, Steen H, Navrud S, Brox II (2014) A health economic evaluation of screening and treatment in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Scoliosis*. <https://doi.org/10.1186/s13013-014-0021-8>
33. Ayvaz E, Uca M, Ayvaz E, Yıldız Z (2025) Clinical and economic effectiveness of Schroth therapy in adolescent idiopathic scoliosis:

---

insights from a machine learning- and active learning-based real-world study. J Orthop Surg Res. <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05900-2>

الفعالية طويلة الأمد للاهتزاز الجسمي الكامل المدمج مع التمارين العلاجية المحددة الخاصة بالجنف لدى  
المراهقين المصابين بالجنف مجهول السبب تجربة عشوائية محكمة

---