ChatGPT

مراجعة علمية صارمة لمقاييس الأداء البدني الموضوعية في التمرين

ملخص تنفيذي

تعريف "أداء التمرين" علميًا يعتمد على **السياق** : نوع التمرين (مقاومة/تحمّل/مهارات/تأهيل)، الهدف (قوة/قدرة/اقتصاد حركة/تقليل مخاطر)، والسكان (غير محدد في طلبك، لذا سأعرض خيارات وتحديدات حسب الفئة). لهذا السبب لا يوجد "مقياس واحد" يكفي وحده، بل **حزمة مقاييس** تجمع بين:
- **الحِمل الخارجي**: ما تفعله فعليًا (وزن، تكرارات، سرعة، قدرة، عمل ميكانيكي). [1]
- **الاستجابة الداخلية**: كيف يستجيب جسمك (HR/HRV، VO2، لاكتات، RPE...). [2]
- **الجودة الحركية/الميكانيكا الحيوية** : كيف تؤدي الحركة (ROM، محاذاة، اتساق الشكل، تناظر، ثبات/توازن، سلاسة...). [3]

النتيجة الأهم من الأدبيات: كثير من المصطلحات المتداولة تجاريًا مثل **Form Score / Safety Score / Control Score** ليست "مقاييس قياسية" بذاتها؛ غالبًا هي **درجات مركّبة (composite scores)** تتطلب تعريفًا رياضيًا واضحًا ودليل صلاحية (validity) مستقل لكل خوارزمية/شركة/سياق، وإلا ستظل أقرب لمؤشر إرشادي لا معيار علمي.

على الجانب الآخر، هناك مقاييس ذات رسوخ أعلى في العلم/العيادة:
- **1RM والقوة القصوى** : موثوقيتها عادة "جيدة–ممتازة" كاختبار قوة ديناميكية قصوى إذا اتُّبعت بروتوكولات السلامة والمعايرة. [4]
- **السرعة (خصوصًا سرعة البار/المرحلة المركزية) Velocity Lossg** : مستخدمة بقوة في تدريب المقاومة "VBT" ومؤشّر تعب ميكانيكي/عصبي عضلي أثناء المجموعة. [5]
- **القدرة/القوة/الاندفاع/معدل تطور القوة (RFD)** من منصات القوة أو نظم قياس الإزاحة: صلبة ميكانيكيًا لكنها حساسة للبروتوكول والمعالجة. [6]
- **VO2 وCPET** معيار ذهبي للياقة القلبية التنفسية، مع متطلبات معايرة وتجهيزات واضحة وإطار تفسيري راسخ. [7]
- **HRV** له معايير قياس وتفسير (خصوصًا RMSSD وSDNN) لكن قيمه المرجعية تتأثر بشدة بالعمر/الجنس/وقت القياس وحالة الاستشفاء والمنبهات. [8]

إطار القياس المقترح لجلسة تدريب (بدون قيود ميزانية) يبدأ عادةً بالأكثر "جدوى/صلاحية/قابلية لتغيير المعنى":
1) الحِمل الخارجي الأساسي (حجم/شدة/كثافة/1RM أو 1RM%) + **سرعة الحركة** (أو القدرة) بحسب نوع التدريب. [9]
2) مؤشرات التعب داخل الجلسة (Velocity Loss، تغيّر القدرة/الاندفاع، HR). [10]
3) جودة الحركة عالية المخاطر (محاذاة مفصلية، ثبات، تناظر، ROM في حدود آمنة) خصوصًا في التأهيل أو الأحمال العالية أو المهارات الانفجارية. [11]
4) الاستجابة الداخلية المتقدمة (VO2/لاكتات) عند تقييمات دورية أو تجارب مخبرية/شبه مخبرية. [12]

نطاق المراجعة ومنهجية التقييم

هذه المراجعة تتعامل مع "المقاييس" ككيانات يجب أن تمتلك ثلاثة أشياء كي تُعتبر علمية وقابلة للمقارنة:
- **تعريف تشغيلي واضح** (Operational definition): ما الذي يُحسب بالضبط؟ على أي نافذة زمنية؟ بأي ترشيح (filtering)؟

- **صلاحية (Validity)**: هل تقيس ما تدّعيه؟ وهل تتنبأ بشيء ذي معنى (أداء/مخاطر/تحسن) أو تتفق مع معيار مرجعي؟
- **موثوقية (Reliability)** : هل تعطي نفس النتيجة عند إعادة القياس في ظروف مماثلة؟ (ICC/CV/SEM/MDC). تفسير ICC الشائع (ضعيف/متوسط/جيد/ممتاز) له إرشادات عملية. [13]

عند مقارنة أجهزة/خوارزميات جديدة بمعيار مرجعي، الاعتماد على "الارتباط" وحده مضلل؛ المطلوب تحليل **اتفاق** مثل Bland–Altman وحدود الاتفاق (LoA) مع فحص الانحياز (bias). [14]

مهم كذلك التمييز بين:
- **Kinematics (حركيات)**: زاوية/سرعة زاوية/إزاحة—تقاس بكاميرا/IMU/موشن كابتشر.
- **Kinetics (قوى)**: قوة رد فعل أرضي/عزم/قدرة/اندفاع—تقاس بمنصات قوة/مقاييس حمل/ديناموتر.
- **Physiology (فسيولوجيا)**: VO2، HR، HRV، لاكتات…—تقاس بأجهزة غازات/ECG/حساسات نبض/محللات دم. [15]

تقييم المقاييس التي طلبتها

ROM (Range of Motion) — مدى الحركة

1) **هل هو مقياس معترف به/متحقق؟** نعم—مقياس سريري وبحثي شائع لتقييم مرونة المفصل ووظيفة الجهاز العضلي الهيكلي. [16]
2) **ما الذي يقيسه ولماذا مهم؟** يقيس **السعة الزاوية** لحركة مفصل (نشطة AROM أو سلبية PROM). منطقيًا، ROM يتأثر بطول العضلات/الأوتار، قيود المحفظة المفصلية، الألم، والاتزان العصبي العضلي؛ وهو شرط حدّي يقيّد إمكانية توليد القوة/القدرة ضمن مسار الحركة. [17]
3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**
- أدوات سريرية: **Goniometer/Inclinometer**؛ وحدة القياس: **degree (°)**؛ هناك أدلة قديمة ومستمرة على الاعتمادية لكن الحساسية تعتمد على خبرة الفاحص، تثبيت الوضعية، وتعريف المعالم التشريحية. [17]
- تقنيات قابلة للارتداء: IMU لحساب زوايا/ROM؛ مراجعات حديثة تشير لصلاحية متزامنة "تتراوح حسب المفصل والحركة" مقارنة بالمرجع البصري/المخبر. [18]
4) **القيود/المشوّشات/بروتوكولات تحسين الدقة:**
- المشوّشات: الإحماء/حرارة الأنسجة، ألم أو خوف، تعويضات (حركة حوض بدل مفصل الورك)، اختلاف موضع القياس (نشط vs سلبي). [17]
- لتحسين الدقة: توحيد وضع البداية، تثبيت الجزء القريب (proximal stabilization)، أخذ 2–3 محاولات وأخذ المتوسط، وتسجيل ما إذا كان القياس نشطًا أم سلبيًا. عند استخدام IMU يلزم **معايرة اتجاه الحساس** وإدارة الانجراف (drift) وتحديد معدل أخذ عينات مناسب. [19]
5) **قيم معيارية/عتبات:** توجد قواعد بيانات لقيم ROM طبيعية عبر العمر/الجنس ومفاصل متعددة، لكن "الطبيعي" يختلف حسب السكان والوظيفة المطلوبة. مثال على وجود بيانات مرجعية واسعة النطاق عبر أعمار متعددة في دراسة ميدانية كبيرة. [20]

Symmetry (Bilateral Symmetry) — التناظر/التماثل بين الطرفين

1) **مقياس معترف به؟** نعم كفكرة عامة (تناظر/لاتناظر)، لكن "كيف نحسبه" يختلف: توجد **مؤشرات تناظر متعددة** مستخدمة في الأدبيات (SI، SA، Ratio…)، وقد تختلف حساسيتها وتأويلها. [21]
2) **ما الذي يقيسه ولماذا؟** يقيس **درجة الاختلاف** بين الطرفين في متغيرات مثل القوة، زمن التلامس، زاوية مفصل، ارتفاع قفزة، أو أداء اختبار وظيفي. rationale: بعد إصابة/تأهيل أو حتى في الرياضيين، عدم التناظر قد يرتبط بتعويضات عصبية-عضلية، تغيّر التحميل، أو تباين مهاري، وقد يؤثر على الأداء أو مخاطر إعادة الإصابة—لكن العلاقة ليست خطية دائمًا. [22]

3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**
- في إعادة التأهيل (مثل ACL): شائع استخدام **Limb Symmetry Index (LSI)** كنسبة (%) بين الطرف "المصاب/غير المصاب" في القوة أو اختبارات القفز. [23]
- الحساسات: منصات قوة (GRF)، ديناموميتر/ليج برس، IMU/فيديو لزمن/مسافة القفز أو حركيات. وحدة: % أو فرق مطلق (نيوتن/نيوتن.متر/سم/ث).
4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:**
- مشكلة جوهرية: LSI قد **يبالغ في تقدير** "الاستشفاء" إذا تدهور الطرف المقابل بمرور الوقت (deconditioning)، وبالتالي قد يعطي إحساسًا زائفًا بالتناظر. [24]
- لتحسين: استخدام بطارية اختبارات (قوة + قفز + ميكانيكا هبوط) وليس اختبارًا واحدًا، وتضمين قيم مطلقة للطرفين وليس النسبة فقط، ومراعاة "الطرف المرجعي" (dominant vs non-dominant) حسب السياق. [22]
5) **عتبات/معايير:** في سياقات العودة للرياضة بعد ACL تُذكر عتبة شائعة **LSI ≥ 90%** عبر بطارية اختبارات، لكن مراجعات نقدية حديثة تشكك في اعتبارها "قاعدة أمان" وحدها. [25]

Stability — الثبات

1) **مقياس معترف به؟** "الثبات" كـ construct معترف به، لكن ليس رقمًا واحدًا عالميًا. توجد مقاييس قياسية للثبات الساكن والديناميكي مثل **Time to Stabilization (TTS)** بعد الهبوط، ومقاييس تمايل مركز الضغط (COP) واختبارات سريرية مثل Y-Balanceg BESS. [26]
2) **ما الذي يقيسه ولماذا؟** يقيس قدرة الجهاز العصبي العضلي على **إعادة مركز الكتلة/الضغط** إلى نطاق مستقر بعد اضطراب (هبوط/دفع/تغيير اتجاه). rationale يرتبط بالتغذية الراجعة الحسية (proprioception/vestibular)، التحكم الحركي، وقوة/توقيت العضلات الصغيرة المثبتة. [27]
3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**
- معيار مخبري: منصة قوة لحساب GRF/COP ومنها TTS أو مؤشرات ثبات أخرى؛ الوحدة: **ثانية** (TTS) أو **مم/سم** (سعة التمايل). [28]
- سريري: **BESS** (عدد الأخطاء) وله مراجعة منهجية لخصائص الموثوقية/الصلاحية، كما توجد بيانات معيارية للبالغين. [29]
- **Y-Balance** له أدلة على الموثوقية/القدرة التمييزية/بعض صلاحية التنبؤ بالمخاطر ضمن سياقات رياضية محددة. [30]
4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:**
- تأثير تعلم/اعتياد كبير؛ يلزم محاولات تدريبية قبل القياس الرسمي. [31]
- اختيار عتبة الاستقرار في TTS يغير النتيجة وقد يؤثر على الموثوقية؛ لذا يجب تثبيت منهج الاستخراج. [32]
5) **عتبات/معايير:**
- BESS لديه جداول معيارية حسب العمر. [33]
- Y-Balance: ذُكر قطع شائع مثل **Composite < 89%** في عينات رياضية محددة، لكن الدقة التنبؤية تختلف حسب الرياضة والسكان. [34]

Velocity — السرعة

1) **مقياس معترف به؟** نعم: السرعة (خطية/زاوية) من المقاييس الأساسية في الميكانيكا الحيوية، وفي تدريب المقاومة تحديدًا تُستخدم سرعة البار لتقدير الشدة (1RM%) ومراقبة التعب (VBT). [5]
2) **ما الذي تقيسه ولماذا؟** تقيس السرعة "كيف سريعًا تتحرك الحمولة/الجزء" وهي مرتبطة فسيولوجيًا بقدرة الجهاز العصبي على تجنيد الوحدات الحركية وبالخصائص الميكانيكية (منحنى القوة–السرعة). في المقاومة، **Mean/Peak/ Mean Propulsive Velocity** تعكس شدة الجهد ومدى الاقتراب من الفشل. [5]
3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**
- أجهزة شائعة: Linear Position Transducers (LPT) وIMU وأحيانًا أنظمة بصرية؛ الوحدة: **m/s** . مراجعات منهجية تشير عادةً إلى صلاحية/موثوقية جيدة لهذه الأجهزة في تمارين "مسار شبه خطي" مع انخفاض الدقة في حركات متعددة

المستويات أو مع إزاحات أفقية كبيرة. [35]

- السرعة كمؤشر للشدة: دراسات كلاسيكية في البنش برس دعمت استخدام سرعة الحركة كمؤشر للحمل النسبي (%1RM) بشرط الأداء بنية "أقصى سرعة ممكنة". [36]

4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:**

- أهم مشوّش: اختلاف **نية الحركة** (maximal intent vs متحكم/بطيء)، اختلاف عمق/ROM، إزاحة أفقية للبار، مط/ارتداد (stretch-shortening)، واختلاف تعريف مرحلة الحساب (concentric فقط؟ propulsive؟). [37]

- بروتوكول تحسين: توحيد ROM والقبضة/الوضع، استخدام **نفس نوع الجهاز** ونفس خوارزمية التقسيم، ومعايرة دورية. [38]

5) **عتبات/معايير:**

- "Minimal Velocity Threshold (MVT)" عند 1RM **يختلف حسب التمرين** ؛ ذُكر مثال شائع للبنش برس ~0.17 m/s في مراجعات/أعمال حديثة، مع اختلافات كبيرة بين تمارين أخرى. [39]

- تنبيه مهم: نهج LVP+MVT لا يعمل بنفس الجودة في جميع التمارين (مثل الديدليفت في عينة مدربة)؛ لذا لا تُعمّم قبل تحقق محلي. [40]

Alignment Accuracy — دقة المحاذاة

1) **مقياس معترف به؟** "المحاذاة" (مثل زاوية ركبة/ورك/كاحل) معترف بها كمتغيرات حركية. لكن مصطلح "Alignment Accuracy" كـ **دقة** يحتاج مرجعًا: دقة مقارنة بماذا؟ (زاوية مستهدفة؟ نموذج مثالي؟ معيار مخبري؟). بدون مرجع وتعريف خطأ (MAE/RMSE) يصبح وصفًا عامًا لا "مقياسًا" موحدًا. [41]

2) **ما الذي يقيسه ولماذا؟** عادة يقيس مقدار انحراف محور/زاوية مفصل عن قيمة مرجعية (مثلاً knee valgus/varus، trunk lean). rationale: المحاذاة تؤثر على توزيع الأحمال على الأنسجة (غضاريف/أربطة) وعلى كفاءة إنتاج القوة. [42]

3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**

- 3D motion capture معيار مرجعي بحثيًا، مع تعريفات موحدة لإحداثيات/محاور المفاصل (توصيات ISB). [43]

- 2D video قد يكون "مقارنًا" لـ3D في بعض القياسات ضمن مستوى سهمي/حركات محددة، لكنه محدود في قياسات متعددة المستويات (خصوصًا المستوى الأمامي إذا كانت الحركة ثلاثية الأبعاد مع منظور). [44]

- markerless/pose estimation: يوجد نمو سريع وأدلة صلاحية متفاوتة حسب المفصل/المهمة. [45]

4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:**

- منظور الكاميرا، وضع الكاميرا، سرعة الإطار (fps)، إخفاء العلامات (occlusion)، اختلاف الأحذية/السطح، وتغير زاوية الجسم بالنسبة للكاميرا. [46]

- بروتوكول: تثبيت موضع كاميرا (ارتفاع/مسافة/محور عمودي)، استخدام fps أعلى للحركات السريعة، ومعايرة أو استخدام بيئة markerless موحّدة. [47]

5) **عتبات/معايير:** غالبًا لا توجد عتبة عالمية "للانحراف المسموح" لأن ذلك يعتمد على التمرين (سكوات/هبوط/جري)، الهدف (أداء vs وقاية)، والسكان. الأفضل هو **خطأ بالنسبة إلى baseline شخصي** + مقارنة بنطاقات مرجعية مناسبة لسكان مماثلين إن وُجدت. [48]

Form Consistency — اتساق الشكل

1) **مقياس معترف به؟** الفكرة معترف بها ضمن "تكرارية الأداء" و"تباين الحركة" (movement variability)، لكن ليست قيمة واحدة معيارية؛ تُقاس عبر SD/CV لمتغيرات كينماتيكية/كينتيكية أو مقاييس لاخطية (entropy). [49]

2) **ما الذي يقيسه ولماذا؟** يقيس مدى تذبذب نمط الحركة عبر التكرارات. rationale مزدوج:

- تباين مرتفع جدًا قد يعني فقدان التحكم/تعب/عدم ثبات.

- تباين منخفض جدًا قد يعني "صلابة/قيد" تقلل القدرة على التكيف. الأدبيات تقترح مفهوم "التباين الأمثل". [50]

3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**

- فيديو/IMU/موشن كابتشر لاستخراج زوايا/سرعات ثم حساب SD/CV (%) أو SampEn (بدون وحدة). دراسات في تدريب

مقاومة بدأت تستخدم entropy/variability لتمييز القيود/المهام وشدة الحمل. [51]

4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:**

- حساس جدًا لتجزئة الإشارة (segmentation)، اختيار المتغيرات، والتطبيع الزمني (time normalization).

- بروتوكول: توحيد عدد التكرارات المستخدمة في الحساب، توحيد سرعة/Tempo إن كان الهدف قياس "الشكل" لا "الاستراتيجية"، واختبار الحساسية لإعدادات الترشيح/التقسيم. [52]

5) **عتبات/معايير:** نادرًا ما توجد حدود معيارية ثابتة عبر التمارين. الأنسب هو: baseline فردي + مقارنة بمجموعات مماثلة (رياضة/خبرة/حمل) داخل نفس البروتوكول. [53]

Fatigue Index — مؤشر التعب

1) **مقياس معترف به؟** يوجد "مؤشرات تعب" متعددة معترف بها حسب الاختبار:

- في الجهد اللاهوائي: Fatigue Index في **Wingate** (انخفاض القدرة عبر 30 ثانية) شائع في الأدبيات. [54]

- في تدريب المقاومة: **Velocity Loss** داخل المجموعة كمؤشر تعب عصبي-عضلي/ميكانيكي موثق. [55]

2) **ما الذي يقيسه ولماذا؟**

- Wingate FI: يلتقط فقدان القدرة اللاهوائية/مساهمة الطاقة الفوسفاجينية/التحلل السكري مع تراكم نواتج أيضية. [56]

- Velocity Loss: يقيس الانخفاض النسبي في سرعة التكرارات مع نفس الحمل، ويُظهر ارتباطًا بمؤشرات أيضية (لاكتات/أمونيا) وفقدان ميكانيكي (CMJ loss). [55]

3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**

- Wingate: دراجة أرجومتر + قياس قدرة/زمن؛ وحدات: W و% انخفاض. مراجعات تُلخص أن البروتوكول حساس للإحماء والإعدادات (مقاومة/كتلة). [54]

- Velocity Loss: LPT/IMU + m/s؛ ثم FI = % انخفاض من أسرع تكرار أو من أول تكرار. هناك أعمال تُظهر صلاحيته كمؤشر تعب داخل الجلسة. [57]

4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:**

- Wingate: دافعية، ضبط المقاومة بالنسبة للوزن، تكرار الاختبار قد يحسن الأداء بالتعلم. [58]

- Velocity Loss: يتأثر بتغيّر ROM، تذبذب التقنية، نية الحركة، وباختيار "نقطة مرجعية" (أول تكرار أم أفضل تكرار). بروتوكول قوي: قياس السرعة في كل تكرار، واستخدام نفس تعريفات المرحلة المركزية والمرجع. [59]

5) **عتبات/معايير:**

- في تدريب المقاومة توجد تطبيقات شائعة لحدود VL (مثل ≥25% مقابل >25%) مع أدلة تراكمية أن "خفض VL" قد يكون أكثر كفاءة للقوة/الأداء، بينما VL أعلى قد يزيد الإجهاد/الحجم—لكن النتائج تعتمد على الهدف والسكان. [60]

Tempo — التيمبو/إيقاع التكرار

1) **مقياس معترف به؟** كمتغير وصف/برمجة نعم، لكن كـ "مؤشر أداء" هو ثانوي وغير موحد بالكامل. الأدبيات تعرف tempo عادة بسلسلة 4 أرقام (eccentric/isometric/concentric/isometric). [61]

2) **ما الذي يقيسه ولماذا؟** يقيس **مدة مراحل التكرار** (ثواني) وبالتالي يغيّر: time under tension، والطلب الأيضي، واستراتيجية القوة–السرعة، وربما التحميل على المفاصل عبر التحكم. [62]

3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**

- قياس مباشر: فيديو/IMU/حساسات بار لتحديد بداية/نهاية المراحل، وحدة: ثانية/تكرار أو ثانية/مرحلة.

- دليل التكيفات: مراجعات تشير أن تغير مدة التكرار ضمن نطاقات معينة (≈0.5–8 ث/تكرار) غالبًا لا يغير تضخم العضلة كثيرًا إذا كان إجمالي الجهد/القرب من الفشل متقاربًا، مع ضعف في الأدلة لتمارين "بطيئة جدًا". [63]

4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:** اختلاف "tempo الموصوف" عن "السرعة الفعلية" تحت حمل عالٍ؛ لذلك الأفضل قياس الزمن الفعلي أو السرعة بدل الاكتفاء بتعليمات شفوية. [64]

5) **عتبات/معايير:** لا توجد قيم معيارية عامة؛ التوصيف الأفضل يكون "نطاق" حسب الهدف (قوة/قدرة/تحكم/تأهيل). مراجعات تلخص أن توصيات tempo ينبغي ربطها بالحمل والهدف لا رقم ثابت. [65]

Time Under Tension (TUT) — زمن تحت الشد

1) **مقياس معترف به؟** معروف وشائع في التدريب، لكنه أقل "تقييسًا" من الحجم/الشدة؛ كما أن علاقته بالتكيفات ليست خطية وتتعقد بتداخل القرب من الفشل والحجم الميكانيكي. [66]
2) **ما الذي يقيسه ولماذا؟** مجموع الزمن الذي تكون فيه العضلة تحت حمل خلال مجموعة/حصة. rationale: يزيد التعرض للتوتر الميكانيكي/الأيضي، وقد يؤثر على إشارات التضخم. [67]
3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**
- حسابيًا: TUT = Σ (زمن eccentric + زمن concentric + زمن isometric) عبر التكرارات؛ وحدة: ثانية.
- دليل: مراجعات عن tempo تشير أن الاختلافات المعتدلة في زمن التكرار لا تغيّر التضخم كثيرًا عندما تُضبط بقية المتغيرات؛ كما توجد دراسات تقارن مدد eccentric مختلفة مع TUT أعلى دون اختلاف كبير في التضخم الكلي (مع فروق موضعية أحيانًا). [66]
4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:**
- قياس TUT بدون قياس **القوة/التحميل الحقيقي** قد يكون مضللًا: 40 ثانية تحت حمل خفيف ليست كـ 40 ثانية تحت حمل ثقيل.
- بروتوكول: الإبلاغ عن TUT مع الحمل (%1RM أو السرعة/القدرة) ومع القرب من الفشل/Velocity Loss. [68]
5) **عتبات/معايير:** لا توجد "قيمة سحرية" عامة؛ TUT يجب تفسيره ضمن هدف التمرين (قدرة/قوة/تضخم/تحمل). [69]

Form Score — درجة الشكل

1) **مقياس معترف به؟** ليس كمقياس قياسي واحد. "درجة الشكل" عادة **مركّبة** تجمع عدة خصائص (محاذاة، عمق، ثبات، سرعة، انحرافات) بسلم نقاط. في البحث توجد أمثلة لأدوات "تقييم جودة الحركة" لكنها تختلف عن تمرين لآخر، وغالبًا صلاحيتها "محدودة سياقيًا". [70]
2) **ماذا تقيس ولماذا؟** تقيس مدى قرب الحركة من نمط "مرغوب" (أكثر أمانًا/كفاءة/تقنيًا). rationale: تحسين الكفاءة وإدارة الإجهاد على الأنسجة.
3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**
- قد تُبنى على فيديو 2D/3D أو IMU مع قواعد (rules) أو تعلم آلي. وحدات: نقاط/%.
- الدليل العلمي يعتمد على: (أ) موثوقية التقييم بين المقيّمين/الأيام، (ب) الصلاحية مقارنة بمعيار (3D/خبراء/إصابات). كثير من أدوات "الدرجات" تعاني من نقد حول البنية العاملية/التنبؤ بالإصابة. [71]
4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:**
- خطر "الانبهار بالرقم": إذا تغيّر تعريف الدرجة أو تحديث النموذج تتغير النتائج.
- بروتوكول: نشر تعريف الميزات الداخلة والوزن النسبي + التحقق على مجموعات مستقلة + عرض خطأ القياس (SEM/MDC) وليس الدرجة فقط. [72]
5) **عتبات/معايير:** لا توجد عتبات عامة؛ إن وُجدت فهي خاصة بالأداة/السكان. الأفضل وضع عتبات بناءً على دراسة تحقق (validation) على نفس الرياضة/العمر/الجنس. [48]

Safety Score — درجة الأمان

1) **مقياس معترف به؟** كمصطلح عام لا؛ "الأمان" نتيجة متعددة العوامل. يمكن قياس **مؤشرات مرتبطة بالمخاطر** (أحمال مفصلية/معدلات تحميل/محاذاة/ثبات/تعب)، لكن تجميعها في "Safety Score" يحتاج نموذجًا سببيًا/تنبؤيًا مُتحققًا.

[73]

2) **ماذا يقيس ولماذا؟** يفترض أنه يقيس احتمال تعرض الأنسجة لإجهاد غير مرغوب. rationale: الوقاية من الإصابات/إدارة الأحمال.

3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**

- أقوى طريق علميًا: تقدير **الأحمال/العزوم المفصلية** عبر inverse dynamics + GRF + kinematics (أو نماذج عضلية-هيكلية). [74]

- بدائل ميدانية: وكيل (proxy) مثل زيادة معدل الخطوات في الجري لتقليل أحمال الركبة/الورك، أو مراقبة تناظر/ثبات/هبوط. [75]

4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:**

- ربط مقياس واحد "بإصابة" غالبًا ضعيف بسبب تعدد العوامل (الحِمل التراكمي، النوم، تاريخ الإصابات...).

- بروتوكول: إذا ستبني Safety Score، استخدم نموذجًا يُفصل بين **الخطر اللحظي** (ميكانيكا خاطئة تحت حمل عالٍ) و**الخطر التراكمي** (حجم/استشفاء) مع تحقق تنبؤي prospective. [76]

5) **عتبات/معايير:** لا توجد عتبات عالمية؛ قد توجد عتبات في اختبارات معينة (مثل تناظر/توازن) لكنها ليست "Safety Score" عام. [77]

Control Score — درجة التحكم

1) **مقياس معترف به؟** ليس كمقياس موحد، لكنه يمكن ترجمته لمقاييس معترف بها مثل: **سلاسة الحركة (smoothness/jerk)**، التذبذب/الاهتزاز، الثبات بعد الهبوط، ودقة تتبّع المسار. [78]

2) **ماذا يقيس ولماذا؟** القدرة على تنفيذ الحركة بانتقالات سلسة مع ضوضاء/تذبذب منخفضة. rationale: التحكم العصبي العضلي مرتبط بالكفاءة وربما بالأحمال غير المرغوبة (خصوصًا في الهبوط/تغيير الاتجاه). [79]

3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**

- Smoothness: jerk-based metrics مثل dimensionless jerk أو SPARC؛ تستخرج من مسار/سرعة/تسارع (فيديو/IMU/موشن كابتشر). [80]

- ثبات ديناميكي: TTS/DPSI من منصة قوة. [28]

4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:**

- مقاييس jerk حساسة لطول الزمن والتقسيم والمعالجة؛ بعض الأعمال ناقشت حساسية مقاييس السلاسة لمدة الحركة. [81]

- بروتوكول: توحيد مدة المحاولة أو التطبيع الزمني، وتقرير طريقة التقسيم والترشيح. [82]

5) **عتبات/معايير:** غالبًا baseline فردي أفضل من معايير عامة، إلا في اختبارات سريرية محددة. [83]

Volume/1RM — الحجم و/أو 1RM

أولًا: 1RM

1) **مقياس معترف به؟** نعم، ويُعد مرجعًا أساسيًا لتخصيص أحمال تدريب المقاومة. دليل منهجي يخلص إلى أن اختبار 1RM عمومًا موثوقية "جيدة–ممتازة". [84]

2) **ماذا يقيس ولماذا؟** أقصى قوة ديناميكية يمكن توليدها في تمرين معين لمسار ROM معين. rationale: يرتبط بالتكيفات العصبية والعضلية، وهو أساس نسب الأحمال (1RM%) في البرمجة. [85]

3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**

- وحدة: كجم أو نيوتن.

- بروتوكولات رسمية: توصيات أحمال للمبتدئ/المتوسط/المتقدم و1RM% لأهداف القوة/التضخم/القدرة منشورة في بيان متخصص لتدرج تدريب المقاومة. [86]

- دليل سلامة/فرز سريري (خاصة لكبار السن): يؤكد أن 1RM يمكن أن يكون آمنًا مع فرز مناسب وتعليم تنفس وتجنب

فالسالفا غير المنضبط. [87]

4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:**

- التمرين-محدد بشدة: 1RM في السكوات لا يعادل بنش.
- يحتاج تعلّم تقنية، وتوحيد ROM، وفترات راحة، ومحاولات محدودة لتجنب التعب. دليل سريري يشدد على توحيد إعدادات الأجهزة وتسجيل وضع المقعد… إلخ. [88]

5) **عتبات/معايير:** لا توجد "قيم طبيعية" عامة للقوة القصوى لأن ذلك يعتمد على الوزن والجنس والعمر والرياضة؛ الأكثر فائدة تقييم **تغيرك الذاتي** أو مقارنة بمرجع مناسب (رياضة/فئة).

ثانيًا: الحجم (Volume)

1) **مقياس معترف به؟** نعم كمتغير تدريب رئيسي: عدد المجموعات/التكرارات/الحمل أو "volume load = sets×reps×load". [89]

2) **ماذا يقيس ولماذا؟** مقدار العمل التدريبي الخارجي/الجرعة الميكانيكية. rationale: الحجم من أقوى محددات التضخم العضلي في العديد من المراجعات/التحليلات التجميعية، مع تعقيدات حسب الخبرة والعضلة. [90]

3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**

- بدون حساسات: دفتر تدريب. وحدات: كجم-تكرار (kg·reps)، أو عدد مجموعات أسبوعية/عضلة.
- مع حساسات: يمكن إضافة "عمل/قدرة/سرعة" لإعطاء صورة أدق من volume load وحده. [91]

4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:**

- volume load لا يلتقط اختلاف tempo، ROM، أو الاقتراب من الفشل.
- بروتوكول: الإبلاغ عن الحجم مع شدة (1RM% أو سرعة) + RIR أو Velocity Loss لتقريب "الجهد الحقيقي". [92]

5) **عتبات/معايير:** توجد اقتراحات عامة حول أحجام تدريب أسبوعية للمبتدئ/المتقدم، لكن تختلف بين العضلات والأفراد؛ تحليلات جرعة–استجابة تعطي إطارًا عامًا لا رقمًا ثابتًا لكل شخص. [90]

مقاييس إضافية مهمة وتقييمها بنفس الإطار

Power — القدرة الميكانيكية

1) **مقياس معترف به؟** نعم، خصوصًا في الرياضات الانفجارية والوثب والرفع الأولمبي.

2) **ماذا تقيس ولماذا؟** القدرة = القوة × السرعة؛ تلتقط "إنتاج الشغل في الزمن" وهو جوهر الأداء الانفجاري. [93]

3) **طرق القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**

- منصة قوة + اشتقاق السرعة/الإزاحة → قدرة (W).
- أو LPT/IMU مع نموذج تقدير للقوة/القدرة (أقل دقة). صلاحية أجهزة السرعة/القدرة في المقاومة نوقشت في مراجعات حول تقنيات القياس التجارية. [94]

4) **القيود/المشوّشات/تحسين الدقة:** اشتقاق السرعة/الإزاحة من القوة حساس للترشيح والتكامل وعتبات بداية/نهاية الحركة. أيضًا تردد أخذ العينات يؤثر على مقاييس الحركات التصادمية. [95]

5) **عتبات/معايير:** غالبًا تُستخدم كنسبة للتغير الذاتي أو مقارنة بنخبة رياضية داخل نفس الاختبار (CMJ، squat jump). توجد دراسات موثوقية لمقاييس force-time في القفز لكن المعايير تختلف بالبروتوكول. [96]

Force / Peak Force — القوة/القوة القصوى

1) **معترف به؟** نعم.

2) **ماذا تقيس ولماذا؟** مقدار القوة الخارجية (GRF) أو قوة العضلة (بالديناموميتر). أساس لأي اشتقاق (قدرة/اندفاع/عزم).

3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:** منصة قوة (N) أو ديناموميتر. تردد أخذ عينات مناسب ضروري خصوصًا للتلامسات السريعة. [97]

4) **القيود/المشوّشات:** معايرة الصفر، انجراف الإشارة، مرشح غير مناسب، وتدهور الدقة عند تردد منخفض مع أحداث تصادمية. [98]
5) **عتبات/معايير:** تختلف حسب الجسم/الرياضة؛ غالبًا تُطبّع للوزن (N/kg).

Impulse — الاندفاع

1) **معترف به؟** نعم في الميكانيكا الحيوية والأداء (اندفاع = ∫ F dt).
2) **ماذا يقيس ولماذا؟** يلتقط "تغيير كمية الحركة"، وهو محدد لارتفاع القفز/الإقلاع/التسارع.
3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:** منصة قوة (N·s). يُذكر كمتغير مهم في تقييمات القفز والهبوط. [99]
4) **القيود/المشوّشات:** حساس لتحديد نافذة التكامل وبداية/نهاية الدفع، ولتردد أخذ العينات. [95]
5) **معايير:** غالبًا تطبيع للوزن أو المقارنة الذاتية.

Rate of Force Development (RFD) — معدل تطور القوة

1) **معترف به؟** نعم كمؤشر للقوة الانفجارية، لكن قياسه "صعب" ويتطلب دقة بروتوكولية عالية. [93]
2) **ماذا يقيس ولماذا؟** ميل منحنى القوة-زمن في بدايات الانقباض (مثلاً أول 50–200ms)، يعكس مكونات عصبية (معدل إطلاق الوحدات الحركية) وميكانيكية (خصائص العضلة/الوتر). [93]
3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:** منصة قوة/ديناموميتر، وحدة N/s أو $N \cdot s^{-1}$. مراجعة منهجية-سردية ركزت على المحددات والتوصيات المنهجية لقياس RFD. [100]
4) **القيود/المشوّشات:** تحديد "بداية الانقباض" والضوضاء والترشيح يغيران RFD بشكل كبير. أفضل الممارسات: بروتوكولات متكررة، توثيق العتبات، واختبارات ثابتة (isometric) لتقليل تعقيد الحركة. [101]
5) **معايير:** غالبًا مقارنة ذاتية أو فئات رياضية؛ لا يوجد رقم معياري عالمي.

Heart Rate (HR) — معدل ضربات القلب

1) **معترف به؟** نعم مقياس أساسي للاستجابة الداخلية.
2) **ماذا يقيس ولماذا؟** شدة العبء القلبي (مع قيود: ليس خطيًا دائمًا مع الحمل الخارجي في المقاومة/الحرارة/الجفاف).
3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:** ECG/حزام صدر/PPG؛ وحدة: bpm. في سياق CPET هناك إشارات قياسية لاستخدام HR ضمن حزمة متغيرات. [102]
4) **القيود/المشوّشات:** الكافيين، التوتر، الحرارة، الجفاف، أدوية، وانجراف HR أثناء جهد ثابت (cardiovascular drift). [103]
5) **معايير:** مناطق HR تُحدد نسبيًا (HRmax% أو HRR%) لكن HRmax تقديري له خطأ؛ الأفضل اختبار تدريجي أو استخدام CPET عند الدقة العالية. [104]

Heart Rate Variability (HRV) — تباين ضربات القلب

1) **معترف به؟** نعم، مع معايير قياس/تفسير تاريخية. [105]
2) **ماذا يقيس ولماذا؟** تذبذب الفواصل R–R كمؤشر لتوازن الجهاز العصبي الذاتي (خصوصًا نشاط نظير الودي في RMSSD على قياسات قصيرة).
3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:** ECG أو حزام صدر عالي الدقة؛ مقاييس: RMSSD (ms)، SDNN (ms)، LF/HF

(قدرة طيفية). توجد مراجعة كمية للقيم "الطبيعية" للHRV قصير المدى لدى البالغين، مع التأكيد على تباين كبير ومشاكل توحيد. [106]

4) **القيود/المشوّشات:** حساس جدًا لوقت القياس (صباحًا/مساءً)، التنفس، وضع الجسم، النوم، والتوتر. بروتوكول شائع: قياس صباحي ثابت 5 دقائق، وضعية ثابتة، تحكم في التنفس أو على الأقل تسجيله. [8]

5) **معايير:** لا توجد قيم مرجعية "متفق عليها عالميًا" لكل الأعمار/الأجناس، رغم وجود نطاقات مقترحة في مراجعات. أفضل استخدام: تتبّع فردي longitudinal. [107]

METs — المكافئات الأيضية

1) **معترف به؟** نعم كمفهوم لتقدير شدة النشاط الهوائي.

2) **ماذا يقيس ولماذا؟** 1 MET يُقارب تكلفة الأكسجين في الراحة ويُستخدم لتقدير شدة الأنشطة. لكن القيمة الثابتة 3.5 ml/kg/min ليست دقيقة لكل الأفراد. [108]

3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:** تقدير عبر جداول/معادلات أو قياس VO2 ثم تحويله إلى MET. [109]

4) **القيود/المشوّشات:** اختلاف الاستقلاب الأساسي حسب العمر/الجنس/الكتلة الخالية من الدهون يجعل MET الثابت يخطئ، وقد يؤدي لسوء تصنيف الشدة. [110]

5) **معايير:** تُستخدم فئات MET (خفيف/متوسط/عالٍ) لكن الأفضل عند الدقة العالية استخدام VO2 مباشر أو HR/CPET. [104]

Perceived Exertion (RPE) — الجهد المُدرَك

1) **معترف به؟** نعم على نطاق واسع (رغم أنه "ذاتي" وليس موضوعيًا تمامًا).

2) **ماذا يقيس ولماذا؟** يلتقط التكلفة النفسية-الفسيولوجية كما يشعر بها الشخص. مفيد لتقدير الحمل الداخلي خاصة عندما تكون قياسات HR/VO2 غير عملية أو ناقصة في المقاومة. [111]

3) **القياس/الأدلة:** مقياس 6–20 أو 0–10. توجد أعمال تربط RPE بـHR بمعادلات انحدار في التمرين الديناميكي. [112] كما توجد جهود عربية لبناء/تحقق مقياس عربي مصوّر (جامعة الأردن) لقياس الجهد المدرك عبر أعمار مختلفة. [113]

4) **القيود/المشوّشات:** خبرة الشخص بالمقياس، القلق، الدافعية، الألم. دليل سريري يذكر احتمالات over/under-rating في كبار السن ويوصي بالتثقيف والمتابعة. [87]

5) **معايير:** في 6–20 يُستخدم كنطاقات تقريبية للشدة، لكن الأفضل استعماله لتتبع الفرد (Session-RPE) وتغيره عبر الزمن. [114]

VO2 (و VO2max/VO2peak) — استهلاك الأكسجين

1) **معترف به؟** نعم، من أكثر المقاييس تحققًا في فسيولوجيا الجهد، خاصة عبر CPET. [104]

2) **ماذا يقيس ولماذا؟** معدل استخدام الأكسجين (ml/kg/min أو L/min)، يعكس قدرة الجهاز القلبي التنفسي والعضلات على استخراج واستخدام O2.

3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**

- CPET breath-by-breath مع أجهزة غازات؛ بيان إرشادي يوضح منهجية القياس وإشارات VO2/VE/VCO2 ومعايرة الأجهزة ومتطلبات الحد الأدنى للمعدات (محللات O2/CO2، flow meter...) ودقة/استجابة. [115]
- قيم مرجعية: سجلات كبيرة مثل FRIEND قدمت معايير مئينية حسب العمر/الجنس ومعادلات معيارية لـ VO2max. [116]

4) **القيود/المشوّشات:** معايرة الغازات/التدفق، معالجة بيانات breath-by-breath (ضوضاء)، بروتوكول الاختبار ومدته. [117]

5) **معايير:** أفضل الاعتماد على percentiles/معايير عمر–جنس من سجلات مرجعية، لا رقم ثابت. [118]

Blood Lactate / Lactate Threshold — اللاكتات/عتبة اللاكتات

1) **معترف به؟** نعم، لكن "مفهوم العتبة" له تعريفات متعددة (LT1/LT2/OBLA/MLSS) وتطبيقاته تحتاج حذر. [119]
2) **ماذا يقيس ولماذا؟** تركيز اللاكتات في الدم (mmol/L) كمخرج لتوازن الإنتاج/الإزالة مع زيادة الشدة؛ يرتبط بالأداء التحمّلي ويُستخدم لتحديد مناطق تدريب. [120]
3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:** وخز شعيري + محلل لاكتات؛ التكرار المتدرج (incremental) لتحديد نقاط انكسار. مراجعة نقدية تسأل "مدى صلاحية" مفاهيم العتبة وتقارنها بإطار MLSS. [119]
4) **القيود/المشوّشات:** بروتوكول المراحل (مدة كل مرحلة)، توقيت أخذ العينة، حرارة/جفاف، اختلاف الأجهزة. بروتوكول: توحيد مدة المرحلة (مثلاً 3–5 دقائق) وثبات أخذ العينات. [120]
5) **معايير:** "4 mmol/L" كـOBLA يُستخدم أحيانًا لكنه ليس مناسبًا للجميع؛ الأفضل تقدير عتبة فردية أو MLSS إن أمكن. [120]

EMG Activation Patterns — أنماط تنشيط العضلات (EMG)

1) **معترف به؟** نعم في البحث والعيادة (خاصة إعادة التأهيل والتحليل الحركي)، مع معايير تسجيل ومعالجة.
2) **ماذا يقيس ولماذا؟** الجهد الكهربائي السطحي المرتبط بتنشيط العضلة (ليس قوة مباشرة). مفيد لتوقيت التجنيد، التشارك العضلي، وتغيرات التعب (تحول ترددات).
3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:**
- Surface EMG مع توصيات لـ placement/IED/اتجاه الأقطاب، ومعالجة الإشارة: high-pass 10–20 Hz، low-pass قرب 500 Hz، وأخذ عينات ≥1000 Hz وفق توصيات مشروع أوروبي (SENIAM) مع تبرير طيفي. [121]
- التطبيع (Normalization): توافقات حديثة تؤكد ضرورة التطبيع (مثل MVC%) لتقليل اختلافات بين الأفراد/الجلسات. [122]
4) **القيود/المشوّشات:** حركة الكابل/أثر الحركة، cross-talk، اختلاف مقاومة الجلد، وحساسية كبيرة لموضع الأقطاب. بروتوكول: تحضير الجلد، تثبيت الكابلات، توثيق الموضع، واستخدام MVC% أو طرق تطبيع مناسبة. [123]
5) **معايير:** لا توجد "قيم طبيعية" عامة لسعة EMG عبر العضلات/الأفراد بدون تطبيع؛ المعايير تكون نسبية (MVC%) أو مقارنة داخل الشخص. [124]

Movement Smoothness — سلاسة الحركة

1) **معترف به؟** نعم كمجموعة مقاييس (SPARC، jerk metrics)، خاصة في التأهيل والتحكم الحركي، وتزايد استخدامها في الأداء. [125]
2) **ماذا يقيس ولماذا؟** انخفاض التقطّع/التذبذب في السرعة/التسارع؛ منطقها مرتبط بكفاءة التحكم العصبي وتقليل "ضوضاء" الحركة. [80]
3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:** كاميرا/موشن كابتشر/IMU → استخراج مسار/سرعة → حساب SPARC (بدون وحدة) أو log dimensionless jerk. توجد مراجعات تناقش خصائص القياس لهذه المقاييس. [126]
4) **القيود/المشوّشات:** حساسية لمدة الحركة والتجزئة؛ أعمال منهجية أوضحت أن بعض مقاييس السلاسة قد تتصرف عكسيًا إن لم تُطبّع. [81]
5) **معايير:** غالبًا مقارنة ذاتية عبر الزمن/مراحل التدريب، أو مقارنة بسكان مماثلين ضمن نفس المهمة. [83]

Balance Metrics — مقاييس التوازن

1) **معترف به؟** نعم (BESS، YBT، COP sway...). [127]
2) **ماذا تقيس ولماذا؟** سيطرة الوضعية وقدرة الحفاظ على مركز الكتلة ضمن قاعدة الارتكاز أو استعادته بعد اضطراب.
3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:** كما في قسم Stability؛ BESS لديه مراجعة منهجية وبيانات معيارية. [29]
4) **القيود/المشوّشات:** تعلم، تعب، بيئة القياس، نوع السطح. [128]
5) **معايير:** BESS norms حسب العمر، YBT cutoffsg سياقية. [129]

Cadence — التردد الخطوي/البدّالات

1) **معترف به؟** نعم في الجري/المشي/الدراجات.
2) **ماذا يقيس ولماذا؟** عدد الخطوات/الدقيقة (steps/min) أو عدد دورات البدال/الدقيقة (rpm). مرتبط بالاقتصاد الحركي وتوزيع الأحمال. زيادة بسيطة في step rate قد تقلل أحمال الورك/الركبة في الجري. [42]
3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:** ساعة/IMU/حساس قدم/دراجة؛ وحدات steps/min أو rpm. مراجعة عن سرعات المشي خارج المختبر قدمت متوسطات سرعة/كادنس عند المشي المعتاد. [130]
4) **القيود/المشوّشات:** يتغير مع السرعة والطول والخبرة والسطح.
5) **معايير/عتبات:**
- للمشي كنشاط متوسط الشدة يُطرح أحيانًا >100 خطوة/دقيقة كمؤشر إرشادي (على مستوى الصحة العامة). [131]
- في الدراجات: أعمال على نخبة الدراجين والاقتصاد تشير إلى اختلاف "الكادنس الأمثل" حسب الشدة/المدة؛ نخبة كثيرًا ما تختار ~90 rpm في سياقات معينة. [132]

Joint Loading / Joint Moments — تحميل المفاصل/عزوم المفاصل

1) **معترف به؟** نعم، وهو محور أساسي في الميكانيكا الحيوية الوقائية والأداء.
2) **ماذا يقيس ولماذا؟** العزوم والقوى الداخلية الصافية عند المفاصل (net joint moments/forces) كبديل لفهم ضغط/شد الأنسجة.
3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:** تتطلب GRF + kinematics + خصائص قطاعات الجسم → inverse dynamics. توجد إرشادات حول المصطلحات والتقرير الدقيق للأحمال والعزوم. [74]
4) **القيود/المشوّشات:** حساسية عالية لخطأ القياس (مواضع العلامات/المعايرة)، ونمذجة الكتل/العطالة، وافتراضات النموذج. [73]
5) **معايير:** معايير على مستوى السكان متاحة في بعض مهام المشي/الجري، لكن للاستخدام التدريبي الأفضل تتبع اتجاهات الفرد وبروتوكول ثابت.

Critical Power (CP) — القدرة الحرجة

1) **معترف به؟** نعم كمفهوم "عتبة تعب" في فسيولوجيا الجهد. [133]
2) **ماذا يقيس ولماذا؟** CP تفصل نطاقات شدة يمكن فيها استقرار الاستجابة الفسيولوجية (CP>) مقابل نطاقات تؤدي لعدم استقرار وتعب سريع (CP<). [134]
3) **القياس/الحساسات/الوحدات/الدليل:** اختبارات زمنية متعددة/نماذج رياضية؛ وحدات: W أو m/s حسب الرياضة.
4) **القيود/المشوّشات:** اختيار البروتوكول والنموذج الرياضي يغير CP وW'. [135]
5) **معايير:** فردي للغاية؛ الأفضل منهجية ثابتة لنفس الشخص.

إطار علمي مقترح لقياس أداء التمرين أثناء جلسات التدريب

طبقات القياس وأولوية المقاييس

بما أن **السكان/الرياضة/المعدات غير محددة** ، أقترح "إطار متعدد الطبقات" يصلح لثلاثة سيناريوهات: (أ) تدريب مقاومة عام، (ب) تدريب جري/تحمل، (ج) تأهيل/وقاية.

الطبقة الأولى (أساسية — أعلى جدوى وأقوى صلاحية عبر السياقات)
- حجم + شدة (1RM أو 1RM% أو عمل/مسافة/سرعة) + كثافة (الراحة). [136]
- سرعة/قدرة (في تمارين المقاومة/الوثب) أو سرعة/كادنس (في التحمل). [137]

الطبقة الثانية (تعب داخل الجلسة وضبط الجرعة)
- Velocity Loss أو تدهور القدرة/الاندفاع عبر التكرارات/المجموعات. [59]
- HR و/أو RPE (خاصة عندما تتغير ظروف اليوم). [138]

الطبقة الثالثة (جودة الحركة المرتبطة بالمخاطر أو الهدف المهاري)
- محاذاة/ثبات/تناظر/ROM ضمن مسار محدد، خصوصًا للأحمال العالية، القفز والهبوط، التأهيل بعد إصابة. [11]

الطبقة الرابعة (تقييمات متقدمة/دورية وليست كل حصة)
- CPET/VO2، لاكتات/عتبات، HRV المنهجي، EMG. [139]

حزمة الحساسات المقترحة (Sensor Suite) ومعدلات أخذ العينات

IMU (وحدات قصور ذاتي)
- استخدام: زوايا/ROM، السرعات الزاوية، تناظر، بعض مؤشرات السلاسة.
- معدل أخذ عينات مقترح: للمشي 100 Hz، للجري 200 Hz، لحركات دورية أسرع قد تحتاج 400 Hz. [140]
- ملاحظة: تقدير الزوايا يتأثر بالمعايرة والانجراف؛ أطر مثل OpenSense/OpenSim أظهرت دقة مقبولة مع إدارة الانجراف في مهام شائعة. [141]

Force Plates (منصات قوة ثلاثية/سداسية المحاور إن أمكن)
- استخدام: GRF، impulse، RFD، TTS، تحليل force-time للقفز/الهبوط.
- معدل أخذ عينات: شائع 1000 Hz للأحداث السريعة، مع أدلة أن التردد يؤثر على مؤشرات الصدمة/الهبوط. [142]

EMG سطحي
- استخدام: توقيت التنشيط، co-contraction، مؤشرات التعب (تحول متوسط التردد)، جودة التجنيد.
- توصيات ترشيح/أخذ عينات: low-pass ~10–20 Hz، high-pass قرب 500 Hz، وأخذ عينات ≤1000 Hz. [143]
- تطبيع: MVC% أو طرق معيارية أخرى لتقليل اختلافات بين الأشخاص/الجلسات. [144]

Heart Rate + ECG-grade (حزام صدر) و/أو جهاز HRV صباحي
- استخدام: شدة داخلية، استشفاء (HRV).
- بروتوكول HRV: قياس 5 دقائق صباحًا، وضعية ثابتة، قدر الإمكان تنفس متحكم/مسجل. [8]

Video (كاميرات متعددة أو Markerless 3D إن أمكن)
- استخدام: محاذاة، زمنيات التكرار، تحقق بصري من الشكل، و/أو استخراج كينماتيك markerless.
- fps: للحركات الديناميكية (هبوط/قطع جانبي) fps أعلى (مثل 120) يعطي دقة/حساسية أفضل من 30. [145]

CPET Metabolic Cart (عند الاختبارات الدورية)
- استخدام: VO2, VCO2, VE، العتبات، الاقتصاد.
- متطلبات الحد الأدنى ومعايرة محللات الغازات/التدفق موضحة في بيان إرشادي. [146]

خطوات معالجة البيانات (Data Processing) وتعريف الميزات (Features)

سير عمل نموذجي (يجب توثيقه بالكامل لأن النتائج شديدة الحساسية للتفاصيل):

```
flowchart LR
  A[جمع البيانات: IMU/Force/EMG/HR/Video] --> B[مزامنة زمنيّة Time Sync]
  B --> C[معايرة: IMU frames + Force zero + EMG impedance + CPET gas]
  C --> D[تنقية الإشارات: filters + artifact handling]
  D --> E[تجزئة الحركة: rep detection / gait events]
  E --> F[استخراج ميزات أولية: angles, velocities, GRF, RMS-EMG, HR]
  F --> G[اشتقاق المقاييس: ROM, symmetry, impulse, RFD, VL, TUT, smoothness]
  G --> H[لوحات معلومات + تغذية راجعة + تخزين للمتابعة]
```

- **المزامنة الزمنية**: ضرورة مطلقة عند دمج IMU+Force+EMG+Video، وإلا ستتلف صِلات السبب–النتيجة (مثل EMG قبل القوة).
- **المعايرة**:
- IMU: وضعية ساكنة مرجعية وربط الحساس بالقطعة (sensor-to-segment calibration). [147]
- Force plates: تصفير (zero) قبل كل محاولة. [97]
- EMG: تحضير الجلد وتثبيت الكابلات ووضع الأقطاب حسب توصيات placement/IED/اتجاه الألياف. [121]
- CPET: معايرات ثنائية النقطة لمحللات O2/CO2 ومعايرة التدفق كما في المتطلبات الدنيا. [146]

تعريفات ميزات (أمثلة تشغيلية قابلة للتنفيذ):
- ROM: max(angle) − min(angle) خلال rep أو خلال نافذة حركة محددة.
- Symmetry: اختيار مؤشر (مثل SI) وتوثيقه؛ أو LSI = (طرف/طرف)*100%. [148]
- Velocity: mean concentric velocity أو mean propulsive velocity في نافذة concentric موحدة. [36]
- Velocity Loss: (V_best − V_last)/V_best أو نسبة مئوية مكافئة. [55]
- TTS: الزمن حتى دخول GRF/المركبة ضمن نطاق خط الأساس وفق عتبة ثابتة. [149]
- TUT: Σ زمن المراحل تحت الحمل لكل rep. [67]
- Smoothness: SPARC أو log dimensionless jerk على مسار مُطبّع. [80]
- EMG amplitude: RMS ضمن نافذة، مطبّع إلى MVC%. [123]

بروتوكول تحقق علمي لأي نظام قياس/خوارزمية

لتحويل نظامك من "قياس مفيد" إلى "قياس علمي" يلزم بروتوكول تحقق على ثلاث طبقات:

1) **صلاحية معيارية (Criterion Validity)**
- قارن IMU/video/الخوارزمية مع معيار مرجعي (3D mocap، force plate، metabolic cart، ECG) على نفس المهام. استخدم RMSE/MAE وحدود اتفاق Bland–Altman، لا الارتباط فقط. [150]

2) **موثوقية (Test–retest + بين المقيمين إن وُجد)**
- ضمن نفس اليوم وبين أيام مختلفة؛ أبلغ ICC/CV/SEM/MDC حسب توصيات الإبلاغ. [151]

3) **صلاحية بنائية/تنبؤية (Construct/Predictive Validity)**
- هل يتغير المقياس كما نتوقع عند تغيير الحمل؟ (مثلاً VL يزيد مع القرب من الفشل). [59]
- هل يرتبط بنتائج مهمة (تحسن 1RM، تحسن VO2max، انخفاض أخطاء توازن)؟ مع تصميم طولي قدر الإمكان. [152]

جدول مقارنة موحد وتصوّرات مقترحة

جدول مقارنة مختصر للمقاييس

المقياس	الغرض/ما يلتقطه	حساسات نموذجية	الوحدة	مستوى الدليل (تقريبي)	أهم القيود
ROM	سعة المفصل (نشط/سلبي)	جونيومتر/IMU/ موشن كابتشر	°	عالٍ سريريًا/بحثيًا [16]	تموضع/تثبيت/ تعويضات، معايرة IMU [19]
Symmetry/LSI	فرق طرفين في أداء/قوة/ حركة	Force plate/ ديناموميتر/IMU/ فيديو	% أو فرق مطلق	متوسط–عالٍ (حسب السياق) [153]	LSI قد يبالغ في التحسن [24]
Stability (TTS/ COP)	استعادة الاستقرار بعد اضطراب	Force plate/ اختبارات سريرية	s / mm	عالٍ لمقاييس محددة [154]	تعلم/اختيار عتبات/ بروتوكول [155]
Velocity (bar/ gait)	شدة/أداء/ مراقبة تعب	LPT/IMU/Video	m/s	عالٍ في VBT مع شروط [156]	مسار غير خطي/ إزاحة أفقية/تعريف المرحلة [157]
Alignment "accuracy"	انحراف عن مرجع تقني	3D/2D/ markerless/ IMU	° / cm / خطأ	متوسط (يتعلق بالمرجع) [158]	منظور/ fps/تعدد المستويات [159]
Form Consistency	تباين عبر التكرارات	IMU/Video/3D	%CV/ Entropy	ناشئ–متوسط [49]	حساس للتقسيم والتطبيع [160]
Fatigue Index (Wingate)	تدهور القدرة اللاهوائية	Cycle ergometer	% / W	عالٍ في الأدبيات [54]	بروتوكول/دافعية/ مقاومة [58]
Velocity Loss (RT)	تعب عصبي-عضلي داخل المجموعة	LPT/IMU	%	عالٍ كدليل تعب ميكانيكي [59]	يتطلب توحيد intent/ROM [5]
Tempo	زمن مراحل التكرار	Video/IMU	s	متوسط (متغير برمجي) [161]	tempo الموصوف ≠ الفعلي تحت حمل [162]
TUT	زمن تحت الشد	Video/IMU/ تقدير	s	متوسط [66]	لا يعكس الحمل وحده؛ يحتاج سياق [136]

المقياس	الغرض/ما يلتقطه	حساسات نموذجية	الوحدة	مستوى الدليل (تقريبي)	أهم القيود
Form/Safety/ Control Score	درجات مركبة	حسب الخوارزمية	نقاط	منخفض–متوسط (أداة-محددة) [163]	حساسة لتعريف/أوزان/تحديثات النموذج [14]
1RM	قوة ديناميكية قصوى	أوزان/آلة + بروتوكول	kg	عالٍ (موثوقية جيدة–ممتازة) [4]	سلامة/تعلم تقنية/توثيق ROM [88]
Volume Load	جرعة خارجية	سجل تدريب/حساسات	kg·reps	عالٍ كمتغير تدريب [164]	لا يلتقط الجهد الداخلي/ROM/سرعة [165]
Power	أداء انفجاري	Force plate/LPT/IMU	W	عالٍ ميكانيكيًا [166]	معالجة/تردد/عتبات التقسيم [95]
Impulse	الدفع الميكانيكي	Force plate	N·s	عالٍ [99]	حساس للنافذة/التردد [95]
RFD	انفجارية القوة	Force plate/دينامومتر	N/s	متوسط–عالٍ مع صعوبة منهجية [93]	حساس للضوضاء/بداية الانقباض [101]
HR	عبء داخلي	ECG/حزام/PPG	bpm	عالٍ [102]	حرارة/جفاف/أدوية/Drift [103]
HRV	توازن ذاتي/استشفاء	ECG/حزام عالي الدقة	ms	متوسط–عالٍ مع تباين مرجعي [8]	حساسية للظروف/التنفس/الوقت [167]
METs	تقدير شدة هوائية	جداول/VO2	MET	متوسط للصحة العامة [108]	MET ثابت غير دقيق فرديًا [110]
RPE	عبء مُدرَك	استبيان فوري	0–10 / 6–20	عالٍ عمليًا/بحثيًا [168]	ذاتي/تأثير نفسي/تعلم [87]
VO2/CPET	لياقة قلبية تنفسية	metabolic cart	ml/kg/min	عالٍ (مع معيارية معدات) [7]	معايرة/ضوضاء breath-by-breath [169]
Lactate Threshold	عتبات شدة/تحمل	محلل لاكتات	mmol/L	متوسط–عالٍ لكن بتعاريف متعددة [120]	بروتوكول/تعريفات/زمن عينات [119]
EMG patterns	توقيت/تجنيد/تعب	sEMG	µV أو MVC%	عالٍ بحثيًا مع معايير [123]	cross-talk/موضع/تطبيع [123]

المقياس	الغرض/ما يلتقطه	حساسات نموذجية	الوحدة	مستوى الدليل (تقريبي)	أهم القيود
Cadence	كفاءة/تحميل	IMU/ساعة/دراجة	steps/min, rpm	عالٍ في المشي/الجري/الدراجات [170]	يتغير مع السرعة/الفرد [130]
Joint loading	أحمال مفصلية	3D+Force plate	N·m / N	عالٍ نظريًا/بحثيًا [74]	حساس لخطأ القياس والنموذج [73]
Critical Power	"عتبة تعب" تحمّل	بروتوكول زمني	W	عالٍ في فسيولوجيا التحمل [171]	يعتمد على البروتوكول/النموذج [135]

تصوّرات (Visualizations) موصى بها

- **لوحة جلسة مقاومة (Per-Set Dashboard)**:
- خط السرعة لكل تكرار داخل المجموعة + خط Velocity Loss المرجعي (مثلاً 10%، 20%، 30%). [59]
- توزيع ROM عبر التكرارات (boxplot) لرصد "تقصير ROM" مع التعب. [172]
- **Force–Time Curves** للقفز/الهبوط مع تعليم مراحل (unweighting/braking/propulsion/landing) واستخراج RFDg impulse. [173]
- **Symmetry Plots** : عمودين لكل طرف (قوة/اندفاع/وقت تلامس) + LSI، مع عرض القيم المطلقة بجانب النسبة لتجنب خداع LSI. [22]
- **HR/VO2 Profiles** في التحمّل:
- VO2 وVCO2g VEg وHRg مقابل الشدة/الزمن، مع تعليم العتبات. [12]
- **Radar Chart (بحذر)** لدمج عدة أبعاد (ثبات/تناظر/سلاسة/ROM) لكن فقط عندما تكون المقاييس مطبّعة ومعروفة MDC، وإلا ستضلل. [72]

علاقة طبقات "الحمل–الاستجابة–الجودة" يمكن تلخيصها هكذا:

```
flowchart TB
  EL[الحمل الخارجي\n(volume, %1RM, velocity, power)] --> IR[الحمل الداخلي\n(HR, RPE, VO2, lactate)]
  EL --> MQ[جودة الحركة\n(ROM, alignment, stability, symmetry, smoothness)]
  MQ --> RL[تحميل الأنسجة/المفاصل\n(joint moments, loading proxies)]
  IR --> AD[التكيف/الاستشفاء\n(fitness, fatigue)]
  RL --> RISK[مخاطر/إجهاد تراكمي]
```

```
AD --> PERF[تحسن الأداء]
RISK --> PERF
```

ملاحظات ختامية حول القيود والفجوات البحثية

أكبر مصدر للخطأ في قياس "أداء التمرين" ليس نقص الحساسات بل **غياب التوحيد** : نفس الاسم قد يعني حسابات مختلفة (مثلاً Velocity Loss، أو "استقرار" في TTS). لذلك أي نظام قياس يجب أن يسبق بتعريفات رياضية وملف بروتوكول ثابت، ثم تحقق صلاحية/موثوقية باتفاق طرق القياس (Bland–Altman) وتفسير ICC، بدل الاكتفاء بالارتباط. [174]

كذلك، كثير من "عتبات" الأداء عبر الإنترنت (مثل رقم ثابت للكادنس أو قيمة MET ثابتة) قد تكون نافعة للتثقيف العام لكنها لا تصلح كمرجع علمي فردي إلا إذا كانت مشتقة من بيانات مرجعية مناسبة أو من baseline شخصي طويل المدى. [175]

وأخيرًا، المقاييس المركبة (Form/Safety/Control Scores) يمكن أن تصبح قوية علميًا إذا بُنيت مثل "أداة قياس" حقيقية: تعريف، تدريب/اختبار على بيانات متعددة، تحقق خارجي، وشفافية في التحديثات—وإلا فهي مؤشرات UX أكثر منها "مقاييس أداء". [176]

---

1 2 91 114 https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30614348/
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30614348/

3 16 17 https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2718483
https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2718483

4 84 152 https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32681399/
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32681399/

5 36 37 137 156 https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20180176/
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20180176/

6 93 100 101 166 https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26941023/
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26941023/

7 12 15 102 104 115 117 139 146 169 https://www.thoracic.org/statements/resources/pfet/cardioexercise.pdf
https://www.thoracic.org/statements/resources/pfet/cardioexercise.pdf

8 105 https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3813710/
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3813710/

9 68 85 86 92 136 https://tourniquets.org/wp-content/uploads/PDFs/ACSM-Progression-models-in-resistance-training-for-healthy-adults-2009.pdf
https://tourniquets.org/wp-content/uploads/PDFs/ACSM-Progression-models-in-resistance-training-for-healthy-adults-2009.pdf

10 55 57 59 165 https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21311352/
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21311352/

11 26 27 28 79 149 154 https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1323292/
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1323292/

/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27330520 151 72 13
/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27330520

/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2868172 176 174 163 150 14
/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2868172

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11503723 18
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11503723

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8859896 141 19
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8859896

/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21070485 20
/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21070485

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6960348 148 21
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6960348

https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2017.7285 24 22
https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2017.7285

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11874420 153 77 25 23
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11874420

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3445164 127 29
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3445164

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8486397 30
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8486397

-https://blogs.bmj.com/bjsm/2023/04/03/simple-hop-tests-after-acl-injury-are-prognostic-for 128 31
/future-outcomes
/https://blogs.bmj.com/bjsm/2023/04/03/simple-hop-tests-after-acl-injury-are-prognostic-for-future-outcomes

https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371%2Fjournal.pone.0212124 32
https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371%2Fjournal.pone.0212124

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3614029 129 33
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3614029

https://www.sralab.org/rehabilitation-measures/lower-quarter-y-balance-test 34
https://www.sralab.org/rehabilitation-measures/lower-quarter-y-balance-test

/https://www.researchgate.net/publication 38 35
Validity_and_reliability_of_linear_position_transducers_and_linear_velocity_transducers_a_systematic_review_355859706
/https://www.researchgate.net/publication
Validity_and_reliability_of_linear_position_transducers_and_linear_velocity_transducers_a_systematic_review_355859706

https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/pdf/10.1055/a-2158-3848.pdf 39
https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/pdf/10.1055/a-2158-3848.pdf

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5968962 40
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5968962

/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11934426 43 41
/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11934426

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3022995 75 42
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3022995

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5380858 44
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5380858

https://www.jssm.org/jssm-23-515.xml%3EFulltext 45
https://www.jssm.org/jssm-23-515.xml%3EFulltext

https://salford-repository.worktribe.com/OutputFile/1492813 46
https://salford-repository.worktribe.com/OutputFile/1492813

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11901006 159 145 47
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11901006

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4213373 138 103 76 48
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4213373

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3183280 53 52 50 49
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3183280

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11412665 51
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11412665

https://www.mdpi.com/1424-8220/21/21/7322 56 54
https://www.mdpi.com/1424-8220/21/21/7322

/https://journal.nsa.bg/article/32959/download/pdf 58
/https://journal.nsa.bg/article/32959/download/pdf

https://www.mdpi.com/2227-9032/11/3/337 60
https://www.mdpi.com/2227-9032/11/3/337

https://www.mdpi.com/1660-4601/16/24/4897 61
https://www.mdpi.com/1660-4601/16/24/4897

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8310485 161 69 62
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8310485

/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25601394 66 63
/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25601394

/https://www.researchgate.net/publication 162 64
-The_Effects_of_the_Movement_Tempo_on_the_One_339916632
Repetition_Maximum_Bench_Press_Results
-https://www.researchgate.net/publication/339916632_The_Effects_of_the_Movement_Tempo_on_the_One
Repetition_Maximum_Bench_Press_Results

-https://www.researchgate.net/publication/356411418_Effect_of_Repetition_Duration 65
-Total_and_in_Different_Muscle_Actions
On_the_Development_of_Strength_Power_and_Muscle_Hypertrophy_A_Systematic_Review
-https://www.researchgate.net/publication/356411418_Effect_of_Repetition_Duration-Total_and_in_Different_Muscle_Actions
On_the_Development_of_Strength_Power_and_Muscle_Hypertrophy_A_Systematic_Review

https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2024.1531926/full 67
https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2024.1531926/full

https://www.mdpi.com/2075-4663/13/2/46 71 70
https://www.mdpi.com/2075-4663/13/2/46

/https://researchonline.ljmu.ac.uk/id/eprint/14435/1 74 73
Inverse%20Dynamics_PerspectivesPaper_SB_AuthorSubmittedCopy.pdf
https://researchonline.ljmu.ac.uk/id/eprint/14435/1/Inverse%20Dynamics_PerspectivesPaper_SB_AuthorSubmittedCopy.pdf

https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2018.00615/full 125 80 78
https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2018.00615/full

?https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/67327/Hogan-Sensitivity%20of%20Smoothness.pdf 81
isAllowed=y&sequence=1
https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/67327/Hogan-Sensitivity%20of%20Smoothness.pdf?isAllowed=y&sequence=1

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11134951 160 126 83 82
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11134951

-https://aci.health.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0006/739923/ACI-Guide-performing-1 172 111 88 87
repetition-maximum-strength-assessment.pdf
-https://aci.health.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0006/739923/ACI-Guide-performing-1-repetition-maximum-strength
assessment.pdf

/https://www.ageingmuscle.be/sites/bams/files/publications 164 90 89
Dose%20response%20relationship%20between%20weekly%20resistance%20training%20volume%20and%20increases.pdf
/https://www.ageingmuscle.be/sites/bams/files/publications
Dose%20response%20relationship%20between%20weekly%20resistance%20training%20volume%20and%20increases.pdf

https://shura.shu.ac.uk/26564/1/sports-08-00094.pdf 94
https://shura.shu.ac.uk/26564/1/sports-08-00094.pdf

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021929022000902 98 95
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021929022000902

https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311886.2020.1843835 96
https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311886.2020.1843835

-https://centrostudilombardia.com/wp-content/uploads/IAAF-Generale/2014-Force-plate-use 173 99 97
in-performance-monitoring-and-sport-science-testing.pdf
-https://centrostudilombardia.com/wp-content/uploads/IAAF-Generale/2014-Force-plate-use-in-performance-monitoring-and
sport-science-testing.pdf

/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20663071 167 107 106
/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20663071

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5213192 109 108
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5213192

https://www.physio-pedia.com/Landing_Error_Scoring_System_%28_LESS%29 175 110
https://www.physio-pedia.com/Landing_Error_Scoring_System_%28_LESS%29

/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24665812 168 112
/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24665812

/https://www.researchgate.net/profile/Harran-Al-Rahamneh/publication 113
aljhd_albdny_almdrk_walthqq_mn_msdaqyth_adrakyaa_lfyat_mryt_mkhtlft_bastkhdam_aldrajt_alhwayyt_althabtt_356892934
qyas-aljamt-alardnyt-ltqyym-shdt-aljhd-albdny-almdrk-walthqq-mn-msdaqyth-adrakyaa-lfyat-mryt-mkhtlft-bastkhdam-aldrajt
alhwayyt-althabtt.pdf
/https://www.researchgate.net/profile/Harran-Al-Rahamneh/publication
rdnyt_ltqyym_shdt_aljhd_albdny_almdrk_walthqq_mn_msdaqyth_adrakyaa_lfyat_mryt_mkhtlft_bastkhdam_aldrajt_alhwayyt_althabtt/links_356892934
-mqyas-aljamt-alardnyt-ltqyym-shdt-aljhd-albdny-almdrk-walthqq-mn-msdaqyth-adrakyaa-lfyat-mryt-mkhtlft-bastkhdam-aldrajt-alhwayyt-althabtt.pdf

https://www.mayoclinicproceedings.org/article/S0025-6196%2815%2900642-4/pdf 116
https://www.mayoclinicproceedings.org/article/S0025-6196%2815%2900642-4/pdf

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025619619306299 118
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025619619306299

/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19453206 120 119
/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19453206

/https://www.researchgate.net/profile/Hermie_Hermens/publication 143 123 121
-Standards_for_suface_electromyography_The_European_project_Surface_EMG_for_non_228486725
-invasive_assessment_of_muscles_SENIAM/links/09e41508ec1dbd8a6d000000/Standards-for-suface
-electromyography-The-European-project-Surface-EMG-for-non-invasive-assessment-of-muscles
SENIAM.pdf
/https://www.researchgate.net/profile/Hermie_Hermens/publication
-Standards_for_suface_electromyography_The_European_project_Surface_EMG_for_non_228486725
-invasive_assessment_of_muscles_SENIAM/links/09e41508ec1dbd8a6d000000/Standards-for-suface-electromyography-The
European-project-Surface-EMG-for-non-invasive-assessment-of-muscles-SENIAM.pdf

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1050641120300808 144 124 122
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1050641120300808

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7806575 170 130
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7806575

?https://bjsm.bmj.com/content/bjsports/52/12/776.full.pdf 131
fbclid=IwAR0z2T2Og2ti5uWZZievP5VHAiS8u7S2pz0h19ZDDXGe8rzLZi_vMtp-Sm4
?https://bjsm.bmj.com/content/bjsports/52/12/776.full.pdf
fbclid=IwAR0z2T2Og2ti5uWZZievP5VHAiS8u7S2pz0h19ZDDXGe8rzLZi_vMtp-Sm4

/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15503124 132
/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15503124

/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27031742 171 134 133
/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27031742

https://www.jsams.org/article/S1440-2440%2817%2931817-0/abstract 135
https://www.jsams.org/article/S1440-2440%2817%2931817-0/abstract

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11991382 140
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11991382

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3793347 142
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3793347

https://www.mdpi.com/1424-8220/22/9/3259 147
https://www.mdpi.com/1424-8220/22/9/3259

https://research.vu.nl/ws/files/1544488/Fransz_JoB_2016.pdf [155]
https://research.vu.nl/ws/files/1544488/Fransz_JoB_2016.pdf

/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12526838 [157]
/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12526838

--https://www.dovepress.com/reliability-and-concurrent-validity-between-two-dimensional-and-three [158]
peer-reviewed-fulltext-article-OAJSM
-https://www.dovepress.com/reliability-and-concurrent-validity-between-two-dimensional-and-three--peer-reviewed-fulltext
article-OAJSM