المحاضرة الرابعة

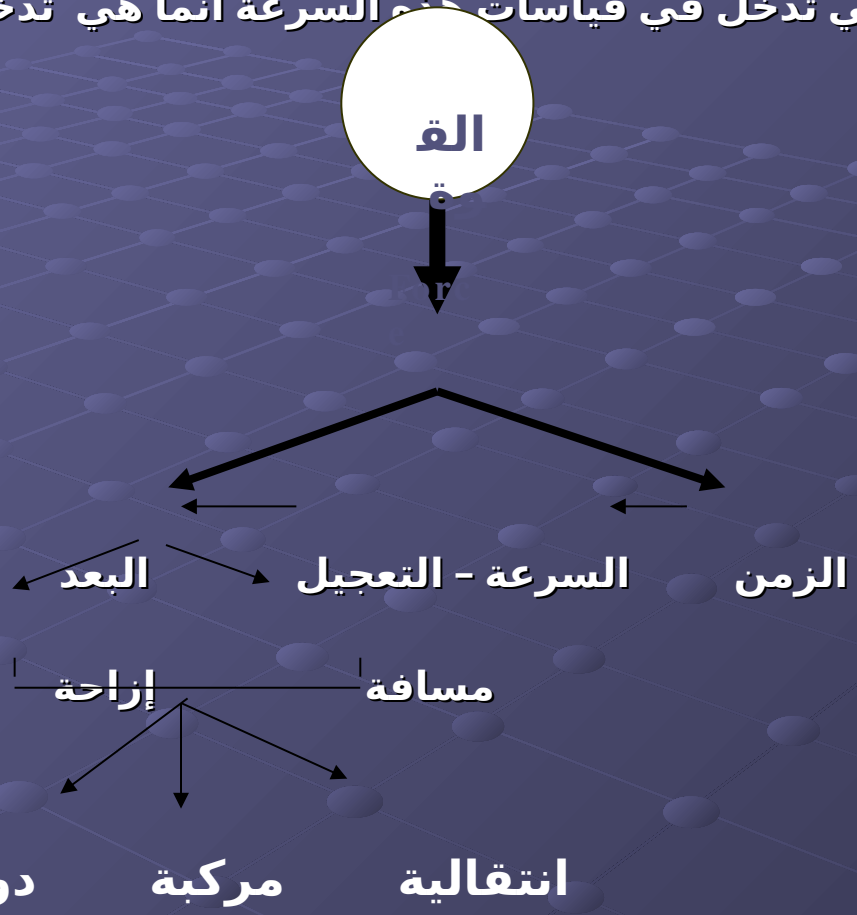
- قوانين القوة وتطبيقاتها

الاستاذ الدكتور صريح عبدالكريم
مدانيل وتد رشيد



© جميع الحقوق محفوظة للأكاديمية الرياضية العراقية الالكترونية 2006

القوة هي سبب الحركــة في الانسان وهي التي تسبب انتقاله بشكل بطئ او سريع وفقا للهدف من هذه الحركة ، وعلى هذا الاساس فأن كل المتطلبات والكميات الميكانيكية التي تدخل في قياسات هذه السرعة انما هي تدخل ضمن المخطط التالي:



- دفع القوة :

دفع القوة – هو مقياس تأثير القوة على الجسم خلال الفترة الزمنية المعطاة (وذلك في الحركات الانتقالية) ، وهو يعادل في الفترة الزمنية النهائية عند تكامل محدد للدفوع الأولية (الجزئية) للقوة ، حيث تنحصر حدود التكامل بين لحظتي بداية ونهاية الفترة الزمنية لتاثير القوة.

وفي لحظة تزامن تاثير عدة قوى فأن مجموع دفوعها يعادل دفع محصلتها خلال نفس الزمن , حيث يكون هناك دفع لأي قوة ، مطبقة حتى ولو لاجزاء صغيرة من الثانية (مثلا – لحظة الارتقاء في الوثب الطويل)

دفع القوة بالذات يعين مقدار التغير في السرعة ، أما القوة نفسها فهي مسببة للتعجيل فقط باعتبارها معدل التغير في السرعة.وهو يعني (القوة في زمن تاثيرها) وهي تتحدد بالعلاقة (ق × ن) (F . T) ، وهي لها علاقة بمقدار التغير في الزخم والذي يرتبط بكتلة الجسم وسرعته لحظة دفع القوة وكما يلي:

القوة = الكتلة × التعجيل ..... (1)

ولما كان التعجيل = التغير في السرعة في زمن معين (التعجيل = س2 – س1 \ ن)

آذن يمكن ان نكتب المعادلة (1) كما يلي:

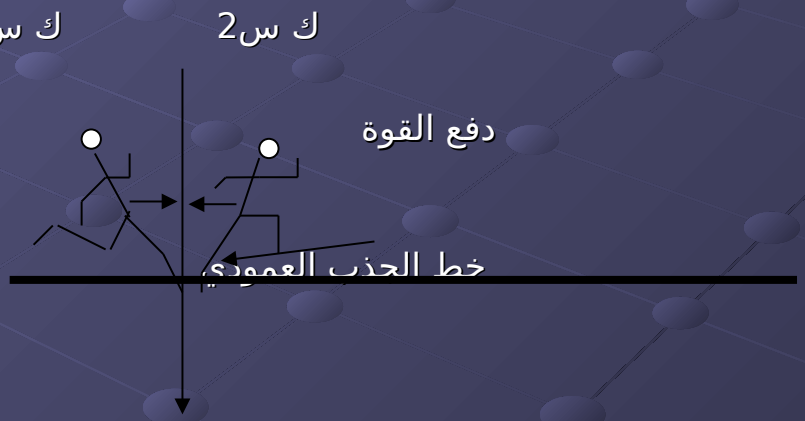
القوة = الكتلة × س2- س1 \ ن .....(2)

ولما كان الزخم = الكتلة × السرعة

اذن يكون المعادلة (2) كما يلي:

القوة = الزخم الثاني – الزخم الأول \ الزمن .....(3)

اذناً القوة × الزمن (دفع القوة) = التغير في الزخم وكلما كانت قيمة التغير في الزخم موجبة فأن ذلك يعني إن دفع القوة كبيرا وان تغير الزخم كان نحو تحقيق سرعة اكبر بعد لحظةالدفع عند اداء القفز ، والعكس صحيح ، وهذا يمكن ان يكون مؤشرا تدريبيا يعطي فكرة عن كمية دفع القوة الذي يحققها اللاعب اثناء الارتقاء مثلا – في حركات التهديف في بعض الألعاب او في لحظات الارتقاء في فعاليات القفز بالعاب القوى او في الحركات المشابهة (ولنأخذ المثال التالي لإيضاح ذلك) :



شكل 1

يبين مرحلتي الامتصاص والدفع لواثب عريض

- لحظة الدفع للارتقاء بالوثب الطويل مثلا فان دفع القوة هنا يكون :
- دفع القوة = الزخم الثاني – الزخم الأول
- فلو كانت كتلة اللاعب (70 كغم) و السرعة الأولى لحظة مس القدم الأرض قبل الارتقاء (8 م/ث) والسرعة التي ينطلق بها اللاعب بعد الارتقاء (5م/ث) فأن دفع القوة يكون هنا (70 ×5 – 70 ×8) ويساوي (- 210 كغم .م/ث) وهذه القيمة تدل على أن دفع القوة كان غير مناسب ، أما إذا كان العكس ، أي أن السرعة الثانية هي 8 م/ث والسرعة الأولى (5م/ث) فأن دفع القوة يكون (+ 210) وهي تدل على أن دفع القوة كان عاليا وان التأثير إيجابي في الحصول على تزايد في سرعة بسبب بذل قوة اكبر لحظة الدفع. أن هذا المؤشر يعطي دلالة للمدرب عن كمية دفع القوة المطلوبة والتي يجب على اللاعب ان يطبقها في حركات متعددة (مثل – كحركات الدفع عند الركض السريع – او حركة الارتقاء للتهديف بكرة اليد او السلة او الكبس بالطائرة .....الخ).
- وفي الحقيقة ان ما يحتسب من هذا القانون يعطي حقيقة الفروق بين الزخم الابتدائي (الاولي) والزخم النهائي (الثاني) بين لحظتي الارتكاز الاولى ولحظة الدفع النهائي (الارتكاز الثاني)وكلما كان الفرق قليل دل ذلك على ان التغير في السرعة قليل ، وهذا يعني ايجابية الدفع الذي يقوم به هذا اللاعب لحظة الارتكاز ، وذلكهذا يدل على استخدام صحيح لدفع القوة وباقل زمن وباداء انسيابي وصحيح.
- الا أن هذا القانون لايعطي قيمة حقيقية (رقمية) لدفع القوة ولا يعبر عن القيمة الكنتيكية الحقيقية التي يمكن ان نستدل منها الى مقدار قوة الدفع الحقيقية التي يبذلها اللاعب لحظات النهوض ، لذا يمكن ان نستخدم القانون التالي لقياس مقدار قوة الدفع المبذولة في هذه اللحظات وبدرجه مقبولة علميا ، بعد ان اوجدنا بشكل علمي فروقا عشوائية بين نتائج هذه القانون وما تم قياسم من قوى بواسطة منصات قياس القوة ، حيث ظهر انه يمكن التعرف على مدى استخدام القوة العضلية عند لحظتي امتصاص القوة (قوة الارتطام لحظة مس القدم الارض) ولحظة الدفع (القيام بحركة الدفع لترك القدم الارض) من خلال القانون التالي وكما يلي:

- **قوة الدفع** = (ك س 1 / ج) + (ك س 2 / ج)

كن صياغة هذا القانون بالاستناد الى زخم الجسم الاول والثاني كذلك (حيث ان زخم الجسم = ك س) و

قوة الدفع = (زخم 1 / ج) + (زخم2 / ج)

اذناً نستطيع ان نحسب قوة الدفع اللازمة من الذي استخرجنا له هذه القوة من ناتج فرق الزخم له ، ويكون حسب هذه المعادلة، اذا فرضنا ان المسافة الاولى 0.30 سم (المسافة بين مركز ثقل الجسم من لحظة مس القدم الارض الى اللحظة التي يكون فيها هذا المركز عموديا على خط الجاذبية) (لاحظ الشكل 1) وفرضنا المسافة الثانية 0.40 سم (المسافة بين مركز ثقل الجسم من الوضع العمودي الى اللحظة التي تترك فيها القدم الارض) ، (لاحظ الشكل اعلاه ايضاً)كما يلي:

9.8 + (0.4/ 5 ×70)+ 9.8+(0.30/ 8× 70) =

2761.26 = نيوتن

اي ما يعادل 4.025 اضعاف من وزن الجسم (وزن الجسم هو 686 نيوتن)

وهذه القيمة الرقمية لدفع القوة هي جدا مقاربة لما تم التوصل اليه من قوى في البحوث والدراسات العالمية والمحلية التي تناولت هذا الجانب ، ويمكن ان يستعاض بها عن تطبيقات منصات قياس القوة .

ويمكن اشتقاق قانون اخر من قانون الدفع عندما تكون سرعة الجسم الابتدائية تساوي صفر، مثل القفز من وضع الثبات ، او الانطلاق من وضع الوقوف ....الخ ، وهذا القانون يكون :

- **القوة = ك س / ن**
  ويمكن ان نقيس السرعة من هذا القانون
  س = دفع القوة / الكتلة
  وبهذا يمكن الحكم من الناحية النظرية على إن كمية حركة الجسم التي يمتلكها عند سرعة معينة تتناسب طرديا مع القوة المبذولة حسب هذا القانون وعكسيا مع الزمن، وهذا القانون يعطينا دلالة واضحة على أهمية السرعة في حصول الجسم على اكبر زخم (كمية حركة) ، **حيث إن زخم الجسم = كتلة الجسم × سرعته**
- فمثلا عندما تكون سرعة اللاعب عند الوثب الطويل من الثبات 5.5 م/ث وكتلته 70 كغم وزمن الدفع هو 0.35 ث فان دفع القوة يساوي
  = 70 × 5.5 / 0.35
  = 1100 نيوتن
- وهذه القيمة يمكن ان تعبر عن مقدار القوة التي يبذلها اللاعب عند اداء الوثب الطويل من الثبات والتي من الممكن زيادتها بنقصان زمن الدفع وزيادة سرعة الجسم عند الدفع ويمكن الاستدلال من هذه الزيادة على مقدار التطور في الجهاز العصبي العضلي كأحد العوامل الاساسية الواجب توفرها عند اللاعب لدى اداؤه الحركات السريعة.
- ان الفائدة من احتساب القوة الميذولة عند اداء الوثب الطويل تكون اكثر علمية من الطريقتين السابقتين والتي تعطي ناتج المسافة فقط ، حيث ان اختبار الوثب الطويل هو اصلا مصمم لقياس القوة السريعة او القوة الانفجارية ، وطالما تم استخدام مصطلح القوة في هذا الاختبار فيجب ان يكون الناتج بوحدات النيوتن وهي الانسب في هذا الاختبار والأصدق في اعطاء النتائج اللاعبين . وبهذا فان الاستخدام العلمي الصحيح لهذه المفردات تساعدنا في فهم طبيعة التدريب وطرق تحديد الشدة عند تطبيق تدريبات السرعة والقوة السريعة والانفجارية.

- ويمكن ان تكون القوة المسبب الرئيسي في انطلاق الاجسام كمقذوفات ، حيث أن مسافة الرمي تتناسب طرديا مع مربع سرعة انطلاق الاداة .. فإذا ضاعفنا من سرعة الانطلاق ، فأن مسافة الرمي سوف تزداد الى اربعة أضعاف .. وزيادة سرعة الانطلاق تتزايد نتيجة للمعادلة التالية :

  سرعة الانطلاق = معدل القوة × زمن الاداء / وزن الاداة

  ان اللاعب يستطيع زيادة (معدل القوة)عن طريق التدريب بالأثقال وتدريبات القوة المطلقة والقوة السريعة والانفجارية ،لتطوير طريقة الاداء ..والذي يؤثر في تطوير زمن الاداء وتطوير الاداء الفني (التكنيك) ، وكل ما تقدم سوف يؤثر على كل من المسافة المتحققه والارتفاع المتحقق للمقذوف
- يمكن حساب ارتفاع المنحني (في القمة) من العلاقة التالية
- $H = V2/ 2 g \times \sin Ø 2$
- أما مسافة الرمي فيمكن حسابها عن طريق القانون التالي
- $D = V2/ g \times \sin 2 Ø$
- نلاحظ أن كلا القانونين تدخل الجاذبية كمتغير رئيسي في حسابهما
- أما في الارتفاعات العمودية فيمكن حساب الارتفاع المتحقق من خلال القانون التالي

  $H = V2/ 2 g$
- ولقد تم تحديد القانون التالي لقياس المسافة الأفقية التي يحققها المقذوف بألعاب القوى (قرص - ثقل - رمح - مطرقة - لاعب وثب طويل) من خلال سرعة انطلاق المقذوف وقوة الجذب الأرضي وكما موضح بالعلاقة التالية
- $D = V2/ g$
- حيث V م/ ث سرعة الانطلاق و g التعجيل الأرضي (9.8 م / ث 2)

لكل ما ورد من قوانين في أعلاه ، حيث يلاحظ إن قوة الجاذبية تدخل في معظم القوانين الخاصة بالمقذوفات والتي تعتبر أحد المقاييس المهمة في التأثير على المسافات التي يحققها المقذوف سواء عموديا أو أفقيا.

ما الترابط بين السرعة والقوة الخاصة :

ومن اجل تطور القوة الخاصة بالألياف العضلية فيجب إن نعمل على زيادة شدة التدريب بمعدلات عالية والذي يعني زيادة كفاءة الا نسجه والألياف العضلية وهذا يتم من خلال ما يأتي:

- زيادة تردد دفع القوة بالنسبة الى الزمن.
- القدرة التزامنية للعمل العضلي.
- القدرة الانقباضية للألياف المثارة للعمل.
- زيادة قوة الانقباض العضلي بزيادة مساحة المقطع العضلي.

ومن هذا المنطلق لابد وأن نتطرق قليلا الى ارتباط الجانب الحيوي (الفسيولوجي) بالقوة من الناحية البيولوجية والتي نتعقد انها من أهم العوامل التي يتأسس عليه فعل القوة الميكانيكية للعضلات (الفعل العضلي الحركي) ، حيث إن هذه القوة تعتمد أصلا على الجوانب التالية:

- الجانب المورفولوجي : كيف تحصل عملية التقلص والاسترخاء العضلي وما دور الألياف العضلية، وماذا يحصل لها خلال هذه الفترة.
- الجانب الكيمياوي : ما مصدر الطاقة الكيميائية المسئولة عن احداث التقلصات العضلية، وماهي الطاقة الناتجة من عمليات التمثيل الغذائي ؟ ومن المسؤول عن الطاقة الميكانيكية اللازمة للعضلات.
- الجانب الميكانيكي : كيفية تحويل الطاقة السابقة الى طاقة حركية ميكانيكية؟

في جميع التدريبات الرياضية هناك طاقة تستخدم لتنفيذ الجهد البدني في جسم الانسان، وهذه الطاقة بدون شك هي طاقة حيوية تتحول إلى طاقة ميكانيكية لازمة لأداء ذلك الجهد.

- وتتولد الطاقة الحيوية في جسم الإنسان من خلال انشطار المواد الغذائية التي تعمل على إنتاج طاقة كيميائية يستخدم قسم منها في تكوين مركب **ATP** وتقوم خلايا الجسم بوظائفها اعتمادا على انشطار هذا المركب ، وهذه الطاقة تعتبر المصدر المباشر الذي تستخدمه العضلة في أداء شغل عضلي معين منها ويكون ذلك بالاعتماد على النبضة العصبية التي عند وصولها يحصل تغيير كيمياوي وتوزيع جديد لأيونات الكالسيوم الموجودة في ألياف العضلة الأمر الذي يؤدي الى فرق جهد كهربائي لتحرير أيونات الكالسيوم التي تقوم بتنشيط مركب **ATP** الذي ينفصل عن المايوسين ويكون نشيطا وفعالا نتيجة لذلك ويتحول الى طاقة و **ATD** ، وقد توصلت أحد الدراسات الحديثة بعد القيام بالعديد من التجارب واستخدام القوانين الميكانيكية الى بناء علاقة رياضية تبين الترابط بين الطاقة الحيوية والطاقة الميكانيكية لإنتاج ما يعرف بدليل الكفاءة وكالآتي:
- **دليل الكفاءة = الطاقة الميكانيكية / الطاقة الحيوية**
- ومن خلال هذه النسبة يمكن أن يمثل دليل الكفاءة مقياس للتأثيرات الخارجية المطبقة على الجسم (**كتلة الجسم وعلاقتها بالجاذبية وسرعة الجسم وعلاقتها بقوة الاحتكاك ومقاومة المقاومات الأخرى**) والتي تستدعي تغييراً في الحالة الحيوية للجسم

- ولتحقيق دليل الكفاءة ينبغي احتساب الطاقة الميكانيكية (حركية وكامنة) عن طريق معادلات خاصة ، واحتساب الطاقة الحيوية (طاقة التمثيل الغذائي) ووفقا لنوع الطاقة المساهمة في الجهد البدني الذي يسبب إنتاج شغل القوة الخاص بالعضلات.
- ومن جهة أخرى يمكن ان تكون المعادلة أعلاه بديلا عن اختبار pwc 170)) الذي يستخدم لتقدير الكفاءة البدنية لحالة الرياضي ، حيث ان النتيجة التي نحصل عليها من هذه المعادلة تعني ان زيادة الطاقة الحيوية (ناتج التمثيل الغذائي المتمثل بالسعرة الحرارية خلال القيام بجهد بدني معين) تعني ان ناتج الشغل العضلي المتمثل بالطاقة الميكانيكية الناتجة عن هذا الشغل يكون عاليا ، حيث تكون خطوات احتساب القياسات الخاصة بهذا القانون ليكون بديلا عن قانون pwc 170)) الذي يعتمد على معدل ضربات القلب والذي هو الاخر يتاثر بالحالة البدنية والنفسية والصحية والمرضية ..... الخ، لايمكن ان يعطي الحالة التي تعكس الكفاءة البدنية التي يتمز بها اللاعب ، فقط بالاستناد على معدل ضربات القلب ، ومن هذا المنطلق يمكن ان يكون القانون الذي تم ذكره والذي هو
- دليل الكفاءة البدنية = الطاقة الميكانيكية / الطاقة الحيوية
- بديلا مناسبا عن قياس الكفاءة البدنية لاعتماده على مؤشرات حقيقية بدنية ميكانيكية وحيوية تعكس الكفاءة البدنية الحقيقية للاعب ، ولإيضاح ذلك ناخذ المثال التالي:
- اذا كان ناتج التمثيل الغذائي عند الركض على جهاز السير المتحرك لرياضي كتلته 70 كغم ويركض لمدة 3 دقيقة على هذا الجهاز هو(2000) سعرة حرارية ، وناتج الطاقة الحركية كان (2520)جول ، اما ناتج الطاقة الكامنة فهو (617.4) فناتج الكفاءة البدنية = 1.25 ، وبدل هذا الناتج انه كلما كان ناتج التمثيل الغذائي عاليا كان ناتج الطاقة الميكانيكية عاليا هو الاخر ، حيث ان هذه القيمة تدل ان ناتج الطاقة الميكانيكية يكون جدا مناسبا فيما يتم إنتاجه من طاقة حيوية تعكس الحالة المثالية للجهاز الحركي والبايولوجي والفسيولوجي في التعامل مع الجهد البدني الذي يقوم به اللاعب. ويمكن قياس الشغل المبذول عند الركض على هذا الجهاز من خلال متغيرات معدل السرعة والمسافة العمودية بدلالة زاوية ميلان الجهاز ، والتي تعبر عن كمية الطاقة المبذولة على هذا الجهاز خلال مدة الركض التي ينفذها الرياضي ، باعتبار ان شغل القوة = 1\2 ك س 2 .

- ***القوة المعيقة***
- تتولد القوة المعيقة عند حركة اللاعب في وسط مائي او هوائي مما يتطلب ذلك من اللاعب ان يبذل شغل عضلي للتغلب على هذه القوى المعيقة الناتجة عن هذا الوسط ، ويمكن القول انه يجب على اللاعب ان يبذل شغلاً يعمل على تغيير او تفكيك كتلة هذا الوسط ، ويمكن حساب هذه القوة المعيقة عن طريق المعادلة:
- القوة المعيقة = 1\2 × كثافة الوسط × مساحة السطح المعرض للإعاقة×معامل الإعاقة ×مربع السرعة
- ومعامل الإعاقة سواء كان للعداء او لاعب الدراجات يساوي (0.9) اما مساحة السطح المعرض للإعاقة لنفس اللاعبين أعلام فتكون 0.55 سم 2 أما كثافة الوسط (الهواء) فتساوي 1.25 كغم. م3
- وتزيد كثافة الماء عن كثافة الهواء بحوالي ثلاثة أضعاف
- ويمكن حساب معامل الإعاقة تجريبيا بالرغم من انه يعتمد على كميات غير متجهة.
- ويمكن تقليل القوة المعيقة الناتجة عن الوسط في الركض او الدراجات بنسبة 10 % عن طريق اختيار الأدوات والملابس المناسبة .
- وتستخدم بعض الاستراتيجيات في حالات السباحة والتجديف ، حيث إن مقاومة الاحتكاك بسطح الجلد في السباحة يؤدي الى زيادة القوة المعيقة ، لذا فغالبا ما يستخدم السباحون الزيوت والدهانات وكذلك تغير شكل مقدمة القارب.

القوة الطاردة المركزية

- يؤدي الركض في المنحنيات الى ظهور متغير فيزيائي يرتبط بكتلة اللاعب وسرعته ونصف قطر المنحني الذي يدور حوله ، يعرف بالقوة الطاردة المركزية، وهذه القوة تعتبر قوة معيقة للأداء، وتعمل باتجاه معاكس لاتجاه مركز قوس المنحني (جزء الدائرة) التي يتحرك فيها اللاعب.
- ويلاحظ تأثير ذلك بوضوح في حالة متسابق الدراجات ومتسابق 200 متر ركض في المنحني، حيث يقترب لاعب الدراجات بصدره من المقود ويميل إلى الداخل وكذلك لاعب 200 متر يغير من حركة ذراعيه ويميل بجسمه إلى الداخل للتغلب على هذه القوة ، ويمكن حساب هذه القوة عن طريق المعادلة
- القوة الطاردة المركزية = الكتلة × السرعة الزاوية ² × نق
  وحيث إن السرعة الزاوية = السرعة المحيطية \ نق
  أذن القوة الطاردة المركزية = الكتلة ×(السرعة المحيطية / نق)²× نق
- أذن القوة الطاردة المركزية = الكتلة × السرعة المحيطية ²/ نق
  أو ق ط م = ك × س ² / نق
- يلاحظ ان هناك علاقة عكسية بين السرعة والكتلة وطردية بين كل من الكتله والسرعة و(ق ط م) وعكسية بين (ق ط م) و(نق)
- وتلعب زاوية الميل للجسم دورا كبيرا في التغلب علي (ق ط م) والتي يجب ان يحققها اللاعب لاستمرار سرعته دون ان يفقد منها شئ من خلال مايلي:
- ظل زاوية الميلان = س ² / ج نق ونتيجة لهذه المعادلة وجب على اللاعب ان يتدرب على تحقيق الزاوية المناسبة اثناء تدريباته على المنحنيات للتغلب على القوة الطاردة المركزية دون ان يفقد شئ من سرعته. ويمكن تصميم مجال ركض يحقق زاوية الميلان المطلوبة من اجل تحقيق اعلى سرعة في المنحني دون فقدان في السرعة ، مثلا عداء سرعته 9.50 م /ث ونصف قطر الدوران هو 37 متر ، فان ظا زاوية الميلان يكون(9.5)²/9.8×37 =0.248 والزاوية التي تقابلها هي (14)

تحليل القفز من الوقوف باستخدام منصة قياس القوة

- Analysis of standing Vertical Jump Using a Force Platform
- تعد منصة قياس القوة من الاجهزة الفعالة لقياس القوة وزمنها عند تطبيق مختلف الحركات الاساسية كالمشي والركض والقفز، وعادة ما يرتبط عمل هذه المنصة مع جهاز حاسوب لإظهار منحنيات السرعة والقوة والزمن والتغير الحاصل فيهما (أي يكون هناك دمج لمعلومات القوة – الزمن – السرعة) . كما يمكن استخدام المنحنيات الناتجة من منصة قياس القوة لحساب ارتفاع القفزة ، باستخدام مؤشرات ميكانيكية لها علاقة بهذه القفزة وهي :
- تحديد زمن مرحلة الطيران واستخدام المعادلات الكينماتيكية ذات العلاقة.
- او استخدام نظرية الدفع وتغير الزخم (Impulse-momentum theory) من خلال تسجيل الزمن والقوة على هذا المنحني باستخدام منصة قياس القوة.
- اما الطريقة الثالثة فيمكن قياس ارتفاع القفزة بتطبيق نظرية الطاقة – الشغل

(Work – Energy theorem) على منحنيات تبدل الطاقة.

ويمكن تطبيق هذه المؤشرات الثلاث نمن خلال حركة القفز العمودي من الوقوف (الثبات) (Standing Vertical Jump)

أن حركة القفز العمودي من الثبات هي حركة معروفة للجميع حيث يبدأ اللاعب بالقفز بالتحضير لها من خلال ثني الركبتين واتخاذ الوضع المناسب للجذع والذراعين ثم المد بسرعة وقوة كي يكون القفز عموديا الى اعلى ما يمكن ، هذا النوع من القفز يعتمد على دورة التطويل والتقصير Stretch – shorten Cycle

وجميع حركات الانسان مثل الركض والقفز والرمي تتطلب تقلص عضلي مسبوق بحركة معاكسة للحركة المطلوبة ، وهذا يعني ان العضلات تمتد قبل ان تتقلص بالاتجاه المطلوب، والكثير من الابحاث أكدت ان التمدد الذي يسبق التقلص يعزز من القوة الناتجة عند اداء حركة معينه. أما في حركة الوثب العمودي يبدأ اللاعب من وضع ثني الركبتين ثم الامتداد بشكل سريع فيهما لكي يتم القفز.

خلال القفز العمودي يتغلب اللاعب على وزن جسمه (قوة جذب الارض المسلطة على مركز ثقل جسمة) والتي لها علاقة بكتلة جسمه وتعجيل الجاذبية، ، وعندما يتم القفز على منصة قياس القوة ، فأن هذه المنصة سوف تسجل منحنيات القوة – الزمن ، التعجيل – الزمن ، السرعة – الزمن ، تغير الزمن والقوة .

يمكن حساب ارتفاع القفز باستخدام المؤشرات الثلاثة التي تم ذكرها (طريقة زمن الطيران) و (طريقة الدفع – الزخم) و (طريقة الشغل – الطاقة) ، ان كل من الطرق الثلاث تحسب ارتفاع الطيران (القفز) من معرفة سرعة مركز ثقل الجسم عند لحظة النهوض ، ومعرفة العلاقة بين ارتفاع الطيران وسرعة النهوض بتطبيق قانون حفظ الطاقة.

-فطريقة زمن الطيران (Flight time method)

عند القفز من الوقوف يتم اهمال مقاومة الهواء ، ويعتبر الطيران حراً ، بعد ذلك يمكن ان نمثل التغيرات في الطاقة الحركية والطاقة الكامنة بين لحظتي النهوض الى حين وصول القافز الة اعلى قمة له بـ :

½ ك س ^{2} + ك ج ع (لحظة النهوض) = ½ ك س ^{2} + ك ج ع (لحظة اعلى قمة)

ولما كانت السرعة العمودية عند اعلى قمة = صفر ، فهذا يعني ان

ارتفاع الطيران = س النهوض ^{2} /2ج

- عند القفز بالطيران الحر (اهمال مقاومة الهواء) فأن الفرق بين السرعة النهائية والابتدائية يساوي التعجيل في فرق الزمن النهائي والزمن الابتدائي .
- السرعة النهائية – السرعة الابتدائية = ج (الزمن النهائي – الزمن الابتدائي) ، حيث ان الزمن الابتدائي هو زمن النهوض والزمن النهائي هو زمن الهبوط ، فإذا فرضنا ان ارتفاع مركز ثقل الجسم عند لحظة الهبوط هي نفسها عند لحظة النهوض (فتكون السرعة النهائية = السرعة الابتدائية)لذا فيكون سرعة النهوض هي
- سرعة النهوض = ج × زمن الطيران / 2

حيث ان زمن الطيران يعني الزمن المستغرق من لحظة النهوض الى لحظة الهبوط.

ان طبيعة جسم الانسان تعطي اخطاء عند استخدام هذا المؤشر ، حيث ان ارتفاع النهوض هو ليسه في ارتفاع الهبوط ، لذا يكون زمن النهوض اقصر من زمن الهبوط فيكون هناك اختلاف في زمن الطيران الكلي ، وبهذا فان ارتفاع القفز يكون حسابه خاطئً ، حيث انه عادة لا يكون اوضاع جسم القافز عند لحظة الهبوط مماثل لأوضاعه عند لحظة النهوض ، حيث ان مفاصل الكاحل والركبة والورك يكاد يكون امتدادها كاملا ، لكن يكون المد فيها اقل عند الهبوط ، وكذلك هناك تأثير لحركة الذراعين ، وعادة يكون ارتفاع مركز ثقل الجسم عند الهبوط اقل منه عند النهوض بـ (1-4 سم)، وهذا يعني أن طريقة زمن الطيران تزيد من تقدير ارتفاع الطيران الحقيقي بحوالي (0.6 – 2 سم) ، وتصبح عدم الدقه هذه كبيرة عند استخدام ارجحة الذراعين ، لذا يكون الارتفاع اكبر بكثير عند استخدام الذراعين هذه من عدمها.

طريقة الدفع – الزخم (Impulse- momentum method)

- أن دفع القوة يحدث تغيرا في زخم الجسم ، كما تم الاشارة اليه سابقا ، (دفع القوة = تغير الزخم) وهذا التغير في الزخم غالبا ما يحصل في مرحلة الاتصال بالأرض، سواء كان الجسم ثابت ام متحرك ، وفي القفز العمودي من الثبات يكون الجسم ثابتا ، ليبدأ بعد ذلك الدفع والنهوض ، والذي يتأثر بقوة جذب الارض (وزن الجسم والذي يعني القوة المبذولة من لحظة التهيؤ وهي اطا نقطة الة لحظة الدفه النهائي) وهي فعل القوة لقوة رد فعل الارض (قوة رد فعل الارض ، تعني القوة التي يسلطها اللاعب اثناء نزوله للاسفل للتهيؤ للقفز ، وهي قوة تبذل ضد جاذبية الارض)
- (قوة رد فعل الارض – وزن الجسم) = زخم الجسم في مرحلة الطيران.
- أن القوتين لهما زمن ابتدائي ونهائي ويتم قياسه من خلال منحنى القوة الزمن (منصة قياس القوة) ، وقوة رد فعل الارض تحدد بقياس مساحة ما تحت المنحني (منحنى القوة – الزمن) ، اما دفع وزن الجسم يمكن تحديده من قراءة منحنى قوة رد فعل الارض ،
- وعلى كل حال فأن مؤشر ارتفاع الطيران له علاقة بالزمن المبذول لحظة الدفع ، وسرعة الجسم خلال الانطلاق ، فلو كان مثلا سرعة الجسم المنطلق 271 سم /ث وارتفاع الطيران 37.5 سم ،فأن زمن الدفع يكون 0.138 ث ، وان كان زمن الدفع اقل مثلا 0.120 فأن سرعة الجسم تكون3.12 م /ث (312 سم /ث)

وفي ذلك دلالة على ان الزخم الذي يكتسبه الجسم يكون عاليا من خلال نقصان زمن الدفع والذي يدل على استخدام مقادير عالية من القوة بلحظة قصيرة (دفع القوة) ، وهذا يسبب ان يكون ارتفاع الطيران عاليا وبزمن محدد ، لهذا فأن طريقة الدفع – الزخم موافقة لطريقة زمن الطيران.

- طريقة الشغل – الطاقة (Work- Energy Method)
- ان الطاقة الحركية هي ناتج الشغل المنجز للجسم ، حيث ان الشغل = القوة × المسافة المنجزة وهو يساوي التغير في الطاقة الحركية التي يمتلكها الجسم ، حيث يمكن تطبيق نظرية الشغل – الطاقة الحركية للجسم خلال مرحلة اتصاله بالأرض بدأ من لحظة تهيؤ القافز (ثبات القافز) الى لحظة طيرانه ، أن الشغل الناتج يمكن اعتباره الشغل المنجز من قبل قوة رد الارض ووزن الجسم ، وهو يساوي
- (قوة رد فعل الارض – وزن الجسم)× المسافة التي يتحركها الجسم = ½ ك س ^{2} ، وأن الشغل الناتج يمكن اعتباره الشغل المنجز من قبل القوتين وكما يلي:
- قوة رد فعل الارض × المسافة – وزن الجسم × المسافة
- شغل قوة رد فعل الارض – شغل وزن الجسم = ½ ك س ^{2}
- ويمكن حساب الشغل الكلي من لحظة نزول مركز كتلة الجسم قبل البدء بالقفز ، أو عندما يكون مركز كتلة الجسم في اوطأ نقطة للقفز من الوقوف ، والأفضل هنا استخدم الحالة لثانية كنقطة بداية لحساب الشغل المنجز
- ومع ذلك يمكن حساب الشغل المنجز من قبل قوة رد الارض بتحديد مساحة ما تحت المنحني ، وحساب الشغل بوزن الجسم ، بقراءة منحنى قوة رد فعل الارض عند القيام بالنزول للاسفل للتهيؤ للقفز .

- **مقارنة الطرق الثلاث (Comparison of Method)**
- اذا اخذنا الطرق الثلاثة التي تم شرحها لحساب ارتفاع الطيران ، فان طريقة زمن الطيران هي ابسط طريقة يمكن ادائها ، الا أن هذه الطريقة عادة ما ينتج فيها زيادة في القيمة الحقيقية لارتفاع الطيران لان ارتفاع مركز كتلة الجسم للقافز عند الهبوط اوطأ منها عند النهوض.
- أما طريقة الدفع – الزخم فتعطي ادق حساب لارتفاع الطيران ، حيث ان هذه الطريقة تعمد على صحة اختيار اللحظة التي قبل القفز والتي يكون فيها القافز ثابت ، وقوة رد فعل الارض تكون مساوية لوزن الجسم مما يعطي دقة في حساب ناتج ارتفاع القفز.
- أما طريقة الشغل – الطاقة فهي اقل الطرق دقة في الحساب ، حيث ان هذه الطريقة خاضعة لسلسلة من الاخطاء خلال حساب التغير الحاصل في سرعة الجسم ، ما ان هذه الطريقة حساسة جداً عند اختيار اللحظة ماقبل القفز ولتي يكون فيها القافز ثابت وقوة رد فعل الارض معادلة لوزن الجسم .
- يعطى واجب للطلبة في ايجاد الفروق في دقة النتائج من خلال تطبيقات عملية.