التطبيقات الاساسية لقوانين نيوتن في الحركات الرياضية

Basic applications of Newton's laws in the sports movements

Prepared by:

Prof. Dr. Ahmed Waleed Abdulrahman Assist. Prof. Dr. Mohammed Mutlak Badr

Postgraduate Studies (Ph.D)

2025 – 2026

مدخل:

- بينا ان كل حركة يقوم بها جسم ما فأنها تحدث بهدف و هذا الهدف بطبيعة الحال يحتاج لمسبب او بعبارة اكثر دقة فأن هذا الهدف هو الدافع الفعلي للحركة او المحفز للحركة.
- اذن الحركة مهما كانت طبيعتها فهي تحدث نتيجة مسبب و هذا المسبب هو ما نطلق عليه (القوة).
- ان تأثير القوة في حياتنا يمكن ان نلاحظه في كل مكان فحركة اجسامنا و كل ما هو محيط بنا نا تج من تأثيرات قوى مختلفة سواء كانت منتجة من اجسامنا (العضلات) فتنتج حركاتنا الطبيعية او حركة الاجسام المحيطة بنا كحركة السيارة في الشارع او المروحة في سقف الغرفة وصولا للصواريخ التي تحمل الاقمار الصناعية للفضاء.
- فكل حركة تحتاج قوة و دراسة القوى المؤثرة بحركة الاجسام نطلق عليه (علم الكنتك).
- حجر الزاوية هو ان نفرق بين مفهوم القوة كمسبب للحركة و بين مفهوم الحركة نفسه خصوصا عند وجود قوة لكن لا توجد حركة.
- الان: السؤال الأبرز ايهما يعتبر تعبيرا حقيقيا عن الانتقال لموقع ثقل الجسم (او الحركة)؟ -القوة؟ ام كمية الحركة؟ و ما الفرق بينهما بايوميكانيكيا؟

من خلال ما تقدم يمككنا تلخيص اسباب دراستنا لمفهوم القوة او أهميته في المجال الرياضي كما يأتي:

1. تحديد العوامل الايجابية في الحركة و بالتالي تعزيزها و تحديد العوامل السلبية و محاولة التغلب عليها او تحييد نتائجها.
2. التعرف على افضل المهارات الحركية للوصول للهدف المطلوب من خلال الاستفادة الافضل من قوى الجسم و تجنب هدرها مثلا في فعالية القفز العالي بالساحة و الميدان تطورت المهارة من الطريقة السرجية التي كانت تهدر قوة الرياضي بشكل كبير و لا تلبي اهداف الانجاز العالي فظهرت طريقة فوسبوري فلوب الأكثر فعالية و التي انتجت ارقاما قياسية كبيرة.
3. فهم العناصر المرتبطة بالقوة يعطينا تصورا لطبيعة تأثيرات القوى الخارجية التي قد تعيق الحركة او على الا قل تؤثر على الهدف الحركي و المهاري مثل تأثيرات الجاذبية و الاحتكاك و مركز الثقل او طبيعة الوسط الذ ي تتم فيه المهارة مثل الماء الى آخر هذا المؤثرات و مكنتنا بالتالي من تطوير المسارات الحركية و المهارية فضلا عن تصميم ادوات الرياضة و تجهيزاتها المختلفة.
4. فهم القوة و عناصرها يمكننا من دراسة اسباب الاخفاق الرياضي و بالتالي محاولة تجاوز اسبابه كونه يتعامل م ع مسببات الحركة او المهارة.

- و لذلك وجب بالضرورة فهم (قوانين نيوتن) بأعتبارها حجر الزاوية في فهم الحركة انطلاقا من (مسبباتها) و الم سبب الوحيد للحركة هو تأثير قوة ما.

من هو نيوتن؟

- قبل الدخول بمحاضرتنا و من باب الثقافة العامة، من هو نيوتن؟
- **السير اسحاق نيوتن ولد في العام 1643 ميلادي في مزرعة عائدة لأهله في مقاطعة لينكونشير و سمي تيمنا على اسم والده.**
- **ارسل للدراسة في مدرسة داخلية في عمر الثانية عشر الا انه فصل من الدراسة بعد خمسة سنوات بعد ان حل بتس لل 72 من اصل 100 طالب كانوا في صفه لانه لم يجد حافزا ذهنيا او تحديا للدراسة و عاد الى مزرعة اهله ليجبر على العمل كفلاح و ادرأه شؤون الفلاحة و طبعا لم يروق الامر له ، و خلال هذه الفترة توسط خال نيوتن لدى المد رسة ليعود هذه المرة و هو مصمم على ابهار اساتذته و فعلا تخرج الاول على دفعته.**
- **في عام 1661 التحق نيوتن بجامعة كامبريدج كطالب عامل، و في تلك الفترة صاغ نيوتن نظرية ذات الحدين العام ة لتكون فيما بعد الاساس في مجال التفاضل و التكامل و اثار هذا الامر الكثير من الجدل لاحقا حول اسبقية الاكتشا ف بينه و بين العالم الألماني غوتفريد لايبنتس.**
- **انجز نيوتن اهم اعماله في الفيزياء الكلاسيكية و هي قوانين الحركة الثلاث و لاحقا مجموعة من الاوراق البحثية ا لتي تناولت حركة الكواكب و ذلك خلال فترة الحجر الصحي عندما ضرب الطاعون الأسود إنكلترا في 1666.**
- **اهم انجازاته كانت في الميكانيكا العامة و علوم الحركة حيث كانت تفسيرات الحركة قبل ذلك لا تخضع لقوانين ثابتة و علمية و حتى كانت تفسر بالسحر او رغبة الآلهة ، قانون الجذب العام ، حساب التفاضل و التكامل، البصريات، نظرية ذات الحدين، و فلسفة العلوم.**
- **شغل مجموعة من المناصب العلمية و الشرفية كان اهمها رئيس الجمعية الملكية للعلوم لمدة 25 عام تقريبا اضافة الى عمله كأستاذ لمادة الرياضيات في جامعة كامبردج و عمل ايضا رئيسا لدار سك العملة ، و كان عضوا في البرل مان البريطاني.**
- **لم يتزوج اسحاق نيوتن ابدا و كرس حياته للعلم .**
- **توفي في عام 1727 وفاة طبيعية في فراشه و ترك ارث علمي منقطع النظير ليصبح اعظم عالم بتأريخ البشرية ل تكون افكاره اهم اعمدة العلم الحديث.**

قوانين نيوتن (Newton's Laws):

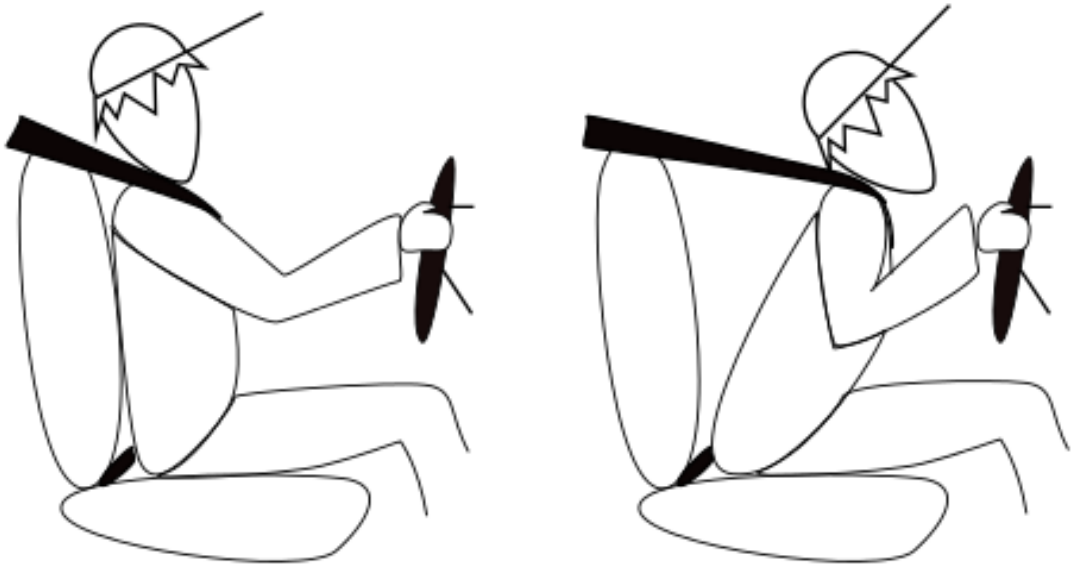
إكتشف العالم إسحاق نيوتن (1662م-1727م) كثيرا من العلاقات الأساس التي تشكل المؤسسة الجديدة لمجال البايوميكانيك الحديث، هذه الاساسات مهمة جدا للعلاقات الداخلية بين الكميات الكينيتيكية.

قانون نيوتن الاول (القصور الذاتي) (Law of Inertia):

((كل جسم يستمر في سكونه أو حركته الخطية أو الدائرية ما لم تؤثر عليه قوة خارجية تحاول تغيير حالته الحركية او شكله))

يعرف هذا القانون بقانون الاستمرارية أو القصور الذاتي وإن التفسير المتعلق بمقاومة الاجسام لتغير حالتها ينطبق أيضا على الفعاليات الرياضية، حيث أن العداء في سباق 100م يستمر في ركضه إلا اذا كانت هناك قوة توقفه او تقلل من سرعته، حيث يصعب عليه التوقف فجأة، وكذلك فأن القفز لمسافة بعيدة يتطلب من الرياضي الركض من مسافة وبسرعة معينة لتحقيق تلك القفزة، أي هناك قوة لتغيير حالة الجسم الحركية.. إن مادة جسم الرياضي أو الاداة التي يستخدمها تحاول الاستمرار في حالتها من السكون أو الحركة الا إذا حدث تأثير من قوة خارجية تتغلب على قصورها الذاتي.

ان التعامل في قانون نيوتن الاول يكون من خلال حالتين هما السكون أو الحركة، ففي حالة السكون فأن محصلة القوى المؤثرة على الجسم يجب أن تساوي صفراً وفي حالة عدم تساوي هذه القوى فيتحول الجسم الى حالة الحركة وهذا ينطبق على الحركة الخطية والدائرية.



العوامل المؤثرة في قانون نيوتن الاول:-

1.يرتبط القصور الذاتي للاجسام بمقدار كتلتها: حيث أن مقدار القوة التي يبذلها الجسم للمحافظة على وضعه من السكون أو الحركة يعتمد على مقدار كتلته، وهنا يكون التناسب طرديا بين الكتلة والقوة المطلوبة للمحافظة على الوضع أو تغير الوضع الحركي للجسم:

تطبيق1: ومن هنا جاء التقسيم لفعاليات رياضية مثل رفع الاثقال والمصارعة والملاكمة وغيرها من الالعاب والفنون القتالية حسب الفئات الوزنية وذلك لان صاحب الكتلة الاصغر سيكون من الصعب عليه جدا من تغيير حركة اللاعب ذو الكتلة الاكبر، حيث أن الكتلة تلعب دوراً حاسماً في كل الفعاليات الرياضية.

تطبيق2: وتحتاج بعض الرياضات أن يمتلك اللاعب قصور ذاتي قليل لكي يبذل قوى تستطيع التغلب على قوة الجاذبية من أجل تحقيق إنجاز أكبر كما هو الحال بالنسبة للاعبي الجمناستك عند أداء الحركات الدورانية وزيادة هذا القصور عند الهبوط من الاجهزة.. من هنا فأن من الضروري جداً بالنسبة للاعبي الجمناستك أن يستمروا بالمحافظة على عدم زيادة كتلتهم مع العمل على تطوير القوة باتجاه التغلب على وزنهم أو القصور الذاتي لاجسامهم.

تطبيق3: وهناك رياضات اخرى تحتاج أن تكون كتلة الجسم قليلة من أجل أن تكون القوى التي تحاول تغيير الحالة الثابتة الى الحالة الحركية قادرة على تنفيذ هذا التغيير مثل لاعب الوثب العالي، إذ كلما اقترب اللاعب من تخفيف أو تقليل المقاومة (القصور الذاتي) التي يتعرض لها يكون قد اقترب من أداء الحركة بشكل ناجح.

2.الحالة الحركية للجسم: حيث أن الجسم الساكن يحتاج الى قوة أكبر للتغلب على قصوره الذاتي من الجسم المتحرك أي أن تغيير الحالة الحركية للجسم المتحرك يكون أسهل من الجسم الساكن، ونقصد بتغيير الحالة الحركية هو زيادة السرعة من خلال زيادة مقدار القوة المؤثرة بثبات كتلة الجسم، ومن الممكن أن يكون لدى المدرب الالمام بذلك.

تطبيق: حيث أن العمل على زيادة السرعة أو التغيير في التعجيل اثناء العمل يكون له الأثر الاكبر في إحداث التطور البدني المطلوب مع مراعاة المسارات الحركية، وبما أن كتلة الرياضي ثابتة فإن تغيير السرعة هو المطلوب كجانب تدريبي، ويظهر ذلك أيضا في تنفيذ الركلات الثابتة والمتحركة في كرة القدم وكذلك عند حدوث التصادم بين لاعبين أحدهما ثابت والاخر متحرك في الارض أو في الهواء أثناء القفز.

و ان لجوء الرياضيين في فعاليات معينة الى استخدام خطوات تقربية قبل الأداء تعلل لنفس الاسبا ب مثل الركضة التقربية في القفز العالي او الطفر العريض .

3.مساحة قاعدة الارتكاز: إن العلاقة طردية بين مساحة قاعدة الارتكاز ومقدار القصور الذاتي للجسم، ومن هنا كان لوقفة البداية في الكثير من المهارات الرياضية المختلفة الاثر الاكبر في تحقيق استقرار لدى الرياضي.

تطبيق: فالمصارع يؤكد على الوقوف بقاعدة واسعة للمحافظة على الاستقرار العالي سيما أثناء التلاحم مع المنافس وكذلك الحال في الملاكمة فأن وقفة الاستعداد تكتسب أهمية كبيرة لمنع سقوط اللاعب بسهولة.. إن القاعدة الواسعة والمتوازنة للجسم تمنع من خروج مركز ثقله خارج قاعدة الارتكاز وتحدد زاوية سقوطه وهو من العوامل المهمة التي تحدد مقدار القصور الذاتي للأجسام.

4.ارتفاع مركز ثقل الجسم: وتكون العلاقة عكسية مع مقدار القصور الذاتي، حيث أن زيادة ارتفاع مركز ثقل الجسم يقلل من قصوره الذاتي والعكس صحيح.

تطبيق: نلاحظ الاطفال بأعمار صغيرة (4-6) سنوات تكون خطواتهم غير مستقرة بسبب إرتفاع مركز ثقلهم بالنسبة لاطوالهم.

5.طبيعة الارض أو السطح: لكي نتغلب على القصور الذاتي لجسم على سطح أملس أو صقيل، نحتاج الى قوة أقل مما لو كان السطح خشناً أو متعرج، ويتضح ذلك من خلال ممارسة فعاليات رياضية مختلفة على أرضيات مختلفة.

Moment of Inertia عزم القصور الذاتي

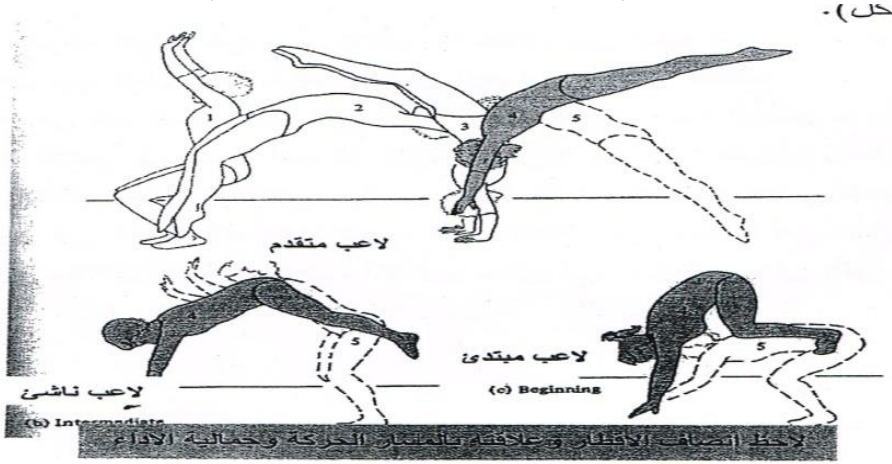
$$^2\text{gyration of radius} \times \text{mass} = \text{Moment of Inertia}$$
$$^2k \times m = I$$

Angular Momentum:الزخم الزاوي (كمية الحركة الزاوية)

ان كمية الحركة الزاوية يمكن ان تتحدد من خلال القانون الآتي:-

الزخم الزاوي(H)= عزم القصور الذاتي(I) × السرعة الزاوية(w)

إن المبدأ السابق من الممكن أن يدخل في تحديد شكل ألاداء المهاري الجيد للاعب متقدم والاداء للاعب مبتديء عند أداء نفس المهارة ويظهر لدينا ذلك من خلال المسار الحركي الظاهري للمهارة وكما في الشكل.



لاحظ أنصاف الاقطار وعلاقته بمسار الحركة وجمالية الاداء

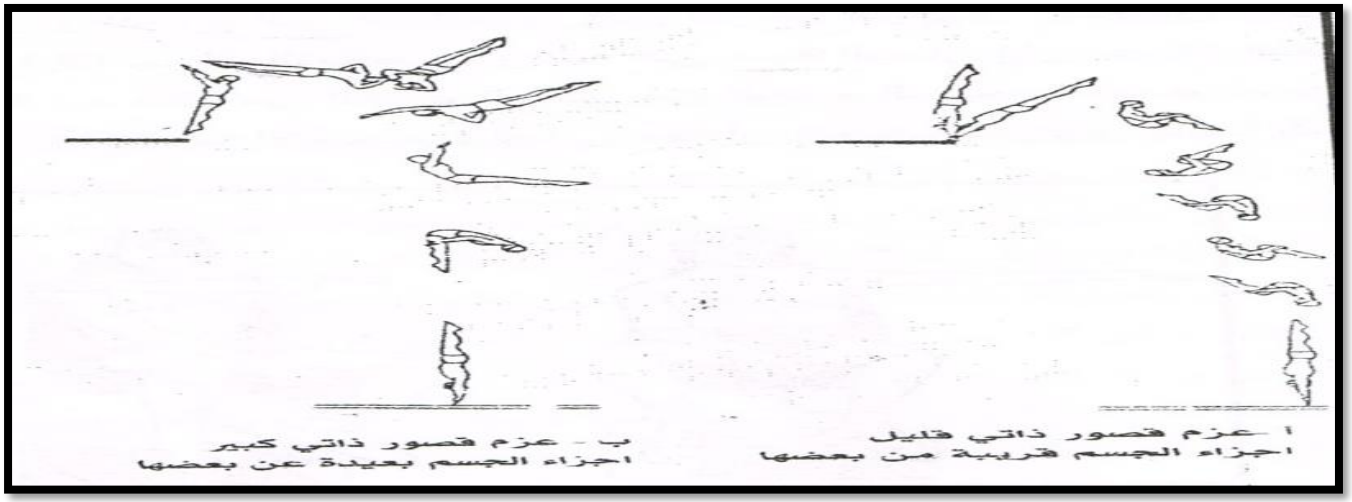
إن مفهوم عزم القصور الذاتي يتوضح لنا من خلال الكثير من الفعاليات الرياضية مثل الرقص على الجليد والحركات الاكروباتيكية في الجمناستك والغطس، حيث أن اللاعب يعمل على تقريب أجزاء جسمه من محور الدوران عند زيادة السرعة ويبعد أجزاء جسمه عن مركز الدوران عندما يريد أن يقلل من سرعة الدوران وكما في الشكل

أي أن تنظيم العلاقة بين عزم القصور الذاتي والسرعة الزاوية يتم من خلال التحكم بأنصاف اقطار الدوران، وهذا ناتج من خلال العلاقة العكسية بين السرعة الزاوية ونصف قطر الدوران.. حيث أن:

السرعة المحيطية= السرعة الزاوية(w)× r

وبما أن: الزخم الزاوي(H)= عزم القصور الذاتي(I) × السرعة الزاوية(w)

ومن تنظيم العلاقة والتعويض عن السرعة الزاوية في معادلة الزخم، نجد ان العلاقة السابقة هي التي توضح فاعلية الحركات التي يقوم بها الرياضي أثناء رمي القرص أو مهارات الجمناستك.



قانون نيوتن الثاني (قانون التعجيل) (Law of Acceleration)

- تعد القوة العامل الرئيس لحدوث الحركة وإن مقدار الحركة وكميتها متعلق بمقدار ال قوة المؤثرة وهذا القانون يعد القاعدة الميكانيكية الرئيسة لجميع الحركات وينص على :

((يتناسب تعجيل الجسم طردياً مع مقدار القوة المؤثرة عليه وتكون الحركة بإتجاه القوة))

$$F = m \times a$$

من المعروف أن الحركة عبارة عن ناتج التأثير المتبادل بين القوة الداخلية والقوى الخارجية أي أن هناك عملية فعل ورد فعل (قانون نيوتن الثالث)، وهذا يتحدد من كون القوة الداخلية هي قوة (العضلات والاربطة والانسجة الضامة) التي تعمل على إنتاج حركة الجسم خلال اداء المهارات الرياضية، ويتناسب التغير في كمية الحركة (الزخم) طردياً مع القوة المؤثرة وهذا هو الاساس في الانجاز الرياضي وتنظيم عمليات التدريب، حيث تلعب كتلة الرياضي دوراً مهماً في الاداء الحركي سيما في الفعاليات التي تلعب فيها الكتلة دوراً حاسماً في تحقيق الانجاز مثل المصارعة والملاكمة وحتى في الاركاض فأن القوة المنتجة من قبل الرياضي تتناسب مع مقدار كتلته.

مثال:

احسب مقدار التعجيل الناتج من قوة مقدارها N100 على ثقل كتلته KG10؟

تطبيق1: وهناك الكثير من الامثلة التي من الممكن أن نطبقها على هذا القانون، ففي مصارعة السومو يعتمد المصارع على كتلته في إحداث تغيير في كتلة خصمه وهذا هو الاساس في اسقاط خصمه داخل الحلبة.. إن الاساس هو في تغيير الكتلة أو في إنتاج القوة لزيادة كمية الحركة الخطية.

تطبيق2: من خلال هذا القانون فأن عمليات التدريب يجب أن تتم بإستخدام الاوزان ضمن شكل المسارات الحركية والمحافظة عليها (تدريب المصارعين مع خصوم أكثر من وزنهم أو إستخدام أدوات رمي أثقل في فعاليات الساحة والميدان)، وأن ثبات كتلة الرياضي يقابله زيادة القوة الموضوعة لزيادة سرعة الاداء وهو مهم في خدمة الاداء الفني خاصة في الفعاليات التي تتطلب السرعة في الاداء مثل الاركاض القصيرة.

مثال:

ما هو مقدار كتلة العداء الذي لديه قوة مقدارها N800 تمكنه من قطع مسافة سباق m100 بتعجيل قدره $10\ m/s^2$ ؟

تطبيق3: إن الاستخدام الاخر لهذا القانون يتعلق بدقة التهديف من مسافات مختلف مثلاً في كرة اليد أو كرة السلة، حيث أن استخدام القوة لكل حالة يختلف عن الحالة الاخرى لاكساب الكرة التعجيل المناسب مع حالة التهديف المطلوبة.

س/ رامي ثقل يصدر قوة مقدارها N1200 بسرعة s/m6 وبزمن s0,5.. إحسب كتلة الرامي؟

أما قانون نيوتن للتعجيل في الحركة الدورانية فهو:

((إن تعجيل الجسم يتناسب طردياً مع مقدار الزخم الزاوي وتتعلق بمقدار البعد العمودي لنقطة تأثير القوة -نصف قطر الدوران))

إن تطبيق قانون نيوتن في التعجيل

يمكن ان يعطى استنتاجات علمية عديدة يمكن ان نصوغ منه قواعد لبيان أهمية تطبيق هذا القانون فى التدريبات والتمارين الرياضية وكما يأتي:

* مع ثبات الكتلة، فأن زيادة القوة تعني زيادة تعجيل تلك الكتلة التي تمثل جسم اللاعب.. مثلاً (من اجل الحصول على مسافة ابعد في رمي الثقل أوتحقيق مسار طيران عالي وبعيد عند التهديف البعيد بكرة السلة أو عند المناولة البعيدة بكرة اليد او عند ركلة رمية المرمى بكرة القدم، يتطلب ذلك زيادة القوة لان الأداة هنا ثابتة الكتلة) وتطوير القوة في العضلات العاملة يتطلب استخدام أوزان مضافة لاجزاء الجسم العاملة لتمثل مقاومة لهذه العضلات من اجل تطوير كفاءتها.

* مع ثبات القوة ، فأن نقصان الكتلة يعني زيادة تعجيل هذه الكتلة أيضا، وفي هذا المجال يمكن استخدام الكرات الطبية الأقل وزنا من الأداة في مختلف الألعاب التي تستخدم الأداة في مبارياتها، ككرة القدم واليد والسلة والطائرة والعاب المضرب والعاب الرمي بالعاب القوى، وفي ذلك يدخل تطوير الشعور العضلي وقدرة الإحساس بالحركة ضمنا عند التدريب بهذه الأوزان.

و بما ان هناك علاقة طردية بين السرعة و مقدار القوة المؤثرة في الجسم فيمكننا استنتاج ما يأتي:

التعجيل = السرعة/الزمن

القوة = (الكتلة Xالسرعة)/الزمن

ق = (ك xس)/ن

و هذا القانون يعتبر مقاربة بايوميكانيكية ممتازة للكثير من المشاكل البحثية.

- مثال:
- جسم اثرت فيه قوة مقدارها 120 نيوتن اكسبته سرعة قدرها 6 متر/ثانية و لفترة 3 ثانية فما مقدار كتلة ذلك الجسم؟
- الجواب:

ق = (ك x س)/ن "."

120 = (ك x 6)/3

ك = (360)/6

ك = 60 كيلوغرام كتلة الجسم

السؤال المطروح: هل تعتبر هذه المقاربة مفيدة في تحديد مقدار الشدة (الوزن) المناسب لمختلف تمرينات القوة؟!

•إن وجود تعجيل تزايدي كبير أو تناقصي كبير يعني وجود قوة كبيرة مفاجئة ومسببة لهذا التعجيل، مثلا عند نزول المنحدرات فقوة الجاذبية تعد قوة كبيرة تسبب في زيادة تعجيل الجسم أو سحب الجسم بسرعة أعلى من سرعته الحقيقية، وفي حركات الهبوط من الأجهزة بعد تطبيق مختلف الحركات والتي تتطلب استخدام قوة قليلة بزمن طويل من اجل العمل على تحقيق تعجيل تناقصي للجسم بعد الهبوط من هذه الأجهزة، أو عند تحقيق دفع قوة كبير بأقل زمن ممكن كما في ارتقاء لاعب الوثب الطويل ، حينما تنخفض سرعته لحظة لمس القدم للارتقاء ولنفرضها كانت (s/m10.7)وانخفضت لحظة الدفع إلى (s/m10) أي التناقص في السرعة كان بمقدار s /m0.7 في زمن قدره (s0.1) فأن الرياضي سيتحرك بتعجيل متوسط قدره (- $s/m^2$7) ، وبافتراض إن كتلة اللاعب Kg80، فهذا يعني أن متوسط القوة لتحقيق ذلك هو:

F= m. a 80 كغم ×- 7 م/ث^2

= - 560 N أي بتغير في زخم الجسم مقداره(-56 s/m.Kg).

إن المفاهيم التي تطرقنا إليها أعلاه تعني إن هناك تدريبات خاصة تهدف إلى تطوير نوع القوة المناسبة مع نوع المهارة الرياضية والتي يطلق عليها القوة الخاصة المحددة للأداء.

يجب أن يكون الهدف من تدريب اللاعب هو الحصول على أفضل انجاز وأفضل نتيجة، وأول شئ يجب إدراكه هو أن يكون تدريب الأداء بطريقه واضحة ومفهومه ، والتعرف على مصطلح القوة الخاصة المحددة للأداء التي تتبع هذه المهارة أو تلك.

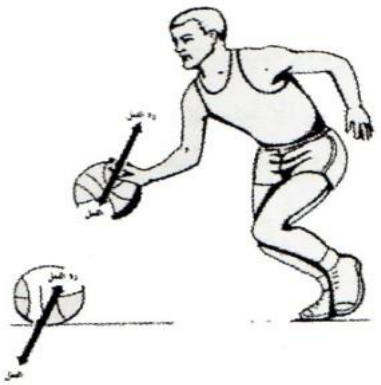
القانون الثالث (قانون رد الفعل)Law of Reaction

((لكل فعل رد فعل يساويه بالمقدار ويعاكسه بالاتجاه))

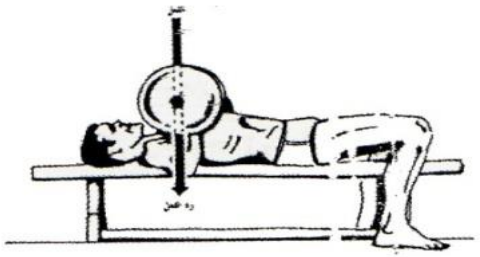
إن هذا القانون يفسر حركة الاجسام فضلاً عن تفسير التأثير المتبادل بين القوى الداخلية والخارجية، ويعد هذا القانون الاساس في فهم ناتج تأثير القوة على حركة الاجسام.

أحياناً يكون من الصعوبة بمكان التعرف على رد الفعل، فعندما نقذف الكرة نحو الحائط ثم ترتد الكرة، فإننا لا نرى الحائط يتحرك في الاتجاه المضاد، ولكن هناك حركة صغيرة للمساحة التي ضربت من الحائط، وإذا ارتدت الكرة من الارض فأن الكرة الارضية تتحرك في الاتجاه الاخر، ولكن لان كتلة الارض كبيرة للغاية، فإ هذه الحركة تكون ضئيلة جداً ولا نستطيع أن نميزها وهذا ينطبق في حالة القفز العمودي أو الوثب العريض يظهر رد الفعل على جسم القافز وليس على الارض.

إن وجود قوتين متساويتين ومتضادتين في الاتجاه يظهر لنا في الكثير من الحركات الرياضية التي هي عبارة عن فعل ورد فعل وبحسب نوع المهارة، وهذا ما نطلق عليه التأثير المتبادل بين قوة العضلات والقوى الخارجية الاخرى مثل قوة الجاذبية وقوة الاحتكاك وضمن مفهوم قانون نيوتن الثالث.

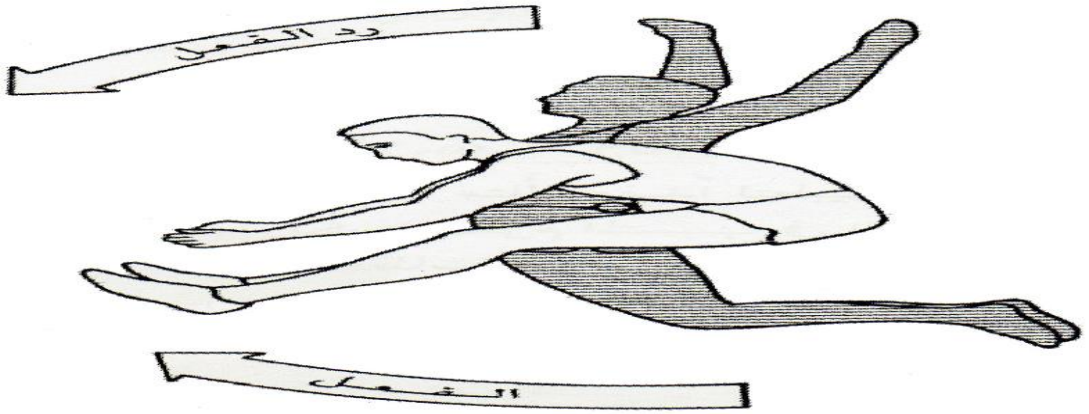


(جـ)



(ب)

(أ)



تطبيق: تعد تمارين البلايومترك من أنواع التدريب التي تعتمد على مبدأ استخدام القفز من ارتفاعات مختلفة وبالتالي الحصول على ردود أفعال عضلية مختلفة تسهم في تطوير العمل العضلي باتجاه المسارات الحركية، وهي تعتمد على مقدار رد فعل السطح الذي يقوم الرياضي بالتدريب عليه.

إن قوة رد الفعل متجهة تتعلق بالزاوية التي يتم التأثير فيها وتكون على نفسط خط عمل القوة المؤثرة وكما في الشكل.

تطبيق: إن ترك العداء لمكعب البداية بقوة يدفعه الى الامام بنفس القوة وكذلك في السباحة، حيث أن عملية السحب تولد في الوقت نفسه دفع الجسم الى الامام ويتناسب ذلك مع مقدار السحب بالذراع أثناء السباحة الحرة، ومن الامثلة الاخرى ارتداد كرة السلة من الارض، حيث أن ارتفاعها يتحدد من خلال مقدار قوة ارتطامها بالارض كرد فعل لذلك.

قانون الفعل ورد الفعل في الحركة الدورانية:

((لكل عزم قوة مؤثر عزم قوة أخر مساوي له ومعاكس له بالاتجاه ويحدث في نفس اللحظة))

تطبيق: ذلك في الكثير من الفعاليات الرياضية، ففي القفز العالي فإن عملية ارجاع الرأس الى الخلف فوق العارضة (فعل) يؤدي الى رفع القدمين فوق العارضة (كرد فعل)، وفي الحواجز فإن عملية ثني الجذع تؤدي الى أن تتجه الساق القائدة بإتجاه الجذع كرد فعل

وكذلك الحال بالنسبة لرامي القرص، فهو يحاول استغلال إمكانياته الذاتية على ضوء القوى الخارجية (مقاومة الهواء)، ويكون ذلك بالتحكم في مقدار زاوية الانطلاق أخذاً بنظر الاعتبار إتجاه الريح، وكذلك نسبة ارتفاع النقطة التي ينطلق منها القرص وسرعة الانطلاق..ويعد (الماء) أحد أنواع القوى الخارجية التي تؤثر بشكل أو بأخر على القوى الداخلية للسباح.

إن اشتراك جميع العوامل في أداء الرياضي لحركة معينة سواء كانت حركة جسمه بمفرده أو مع الاداة، يجعل من الاهمية دراسة طبيعة العوامل الميكانيكية التي تؤثر في الاداء ومدى الاستغلال الجيد للقوى الخارجية المحيطة بالجسم.

عندما يسلط الرياضي قوة على الأرض للنهوض إلى الأعلى فهذا يعني أن رد فعل الأرض سيساو ي القوة المسلطة ويعاكسه في الاتجاه، ومن المعلوم لدينا أن اتجاه الوزن (وزن الرياضي) دائما إلى الأسفل كتوضيح لمفهوم جذب الأرض للأشياء فان اتجاه رد فعل الأرض سيكون إلى الأعلى أي بمعنى أن الرياضي عندما يؤثر بقوة إلى الأرض فان الأرض سيرد ذلك إلى الأعلى أي إن رد الفعل سيكون بالاتجاه الموجب ومع اتجاه قوة العضلات أي:

رد الفعل = قوة العضلات

وبما أن وزن الجسم في اتجاه معاكس لرد الفعل فإننا نستطيع أن نستنتج أن:

رد الفعل = قوة العضلات – وزن الجسم

ماهية العلاقة بين القوى الداخلية والخارجية وتاثيرها على حركة الجسم:

إن كل حركة يقوم بها الرياضي من ركض أو رمي أو قفز لا يمكن أن تحدث إلا بوجود قوى.. فعند محاولة رفع ثقل من الارض الى الاعلى للتغلب على هذه المحاولة هو من خلال قواه الذاتية (العضلية والاربطة والانسجة الضامة)، وما المقاومة الا عبارة عن (قوة الجذب الارضي) لذلك الثقل، فنجد أن القوة التي يستخدمها الرباع لرفع ثقل وزنه 300 نيوتن أقل من القوة المستخدمة لرفع ثقل وزنه 500نيوتن.

من ناحية اخرى إن محاولة التغلب على القصور الذاتي لجسم ساكن على ارض ملساء تختلف عنها عندما يكون الجسم نفسه على أرض خشنة.. إن هذا الاختلاف متأت نتيجة لطبيعة الارض التي تتم عليها الحركة الت تتمثل بما يسمى (قوة الاحتكاك)، ونتيجة لهذا الاختلاف فإن القوة المبذولة لتحريك الجسم في الحالة الاولى أقل منها في الحالة الثانية، أي أن القوة العضلية للرياضي تتحدد على اساس القوة الخارجية.

مثال:

لو أدى الرياضي حركة ثني مفصلي الركبتين من الوقوف بشكل غير مبالغ فيه (انسيابي) فهذا يعني تغلب وزن الجسم على قوة العضلات وافتراضا أن وزن الرياضي كان N1000 وكانت قوة العضلات في لحظة ال ثني N800 فان علامة رد الفعل ستكون سالبة لان:

رد الفعل = قوة العضلات – وزن الجسم

رد الفعل = 800 – 1000

رد الفعل = - N200

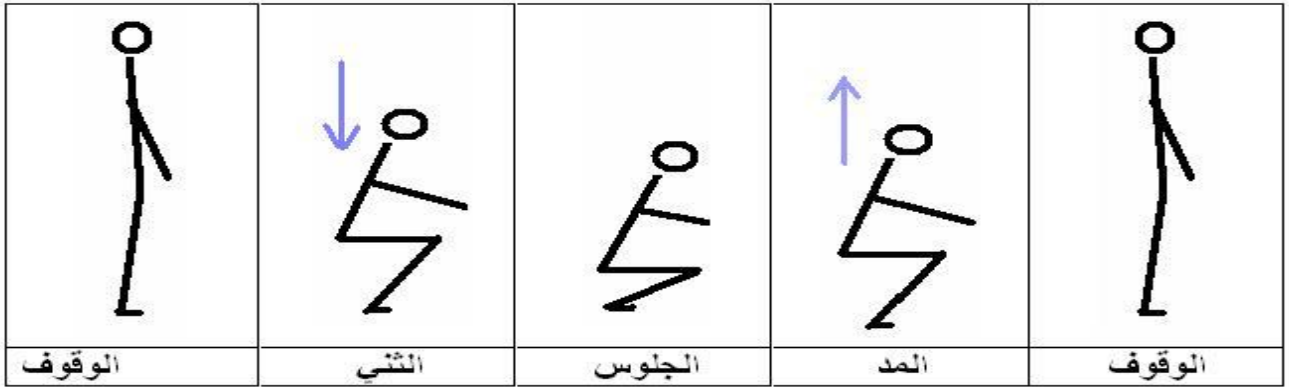
ونستنتج من ذلك أن رد الفعل سيكون اقل من وزن الجسم في حالة الثني وهذه ملاحظة مهمة لتفسير بعض منحنيات دالة (القوة-الزمن)، أما إذا عكسنا الحالة أي إن الرياضي سيمد مفصلي الركبتين من وضع الجلو س فللتغلب على وزن الجسم الذي مقداره N1000 نحتاج إلى N1200 (افتراضا) فان علامة رد الفعل ستكون موجبة لان:

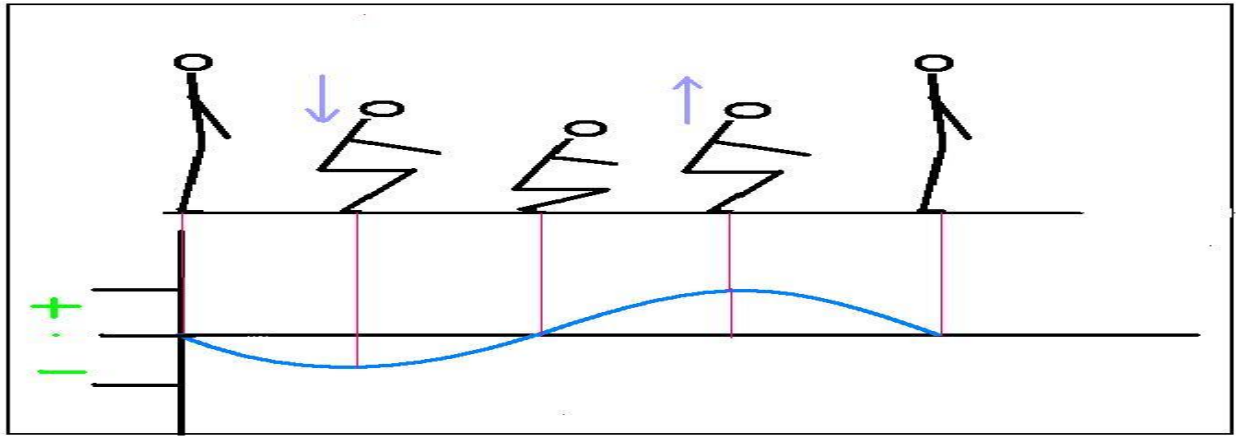
رد الفعل = قوة العضلات – وزن الجسم

رد الفعل = 1200 – 1000

رد الفعل = N200

ونستنتج من ذلك أن رد الفعل سيكون اكبر من وزن الجسم في حالة المد وبالضبط سيكون وكما موضح في الشكل(1000+200=1200)N





ومن ذلك نستنتج أيضا إن رد فعل الأرض سيكون صفرا أو قريبا إلى الصفر إذا تساوت قوة العضلات مع وزن الجسم وسوف لن تكون هناك علامة (موجبة أو سالبة لرد الفعل) مما يؤشر أو يدل على الثبات أو الاستقرار..

علل: عدم استطاعة الأطفال من الوقوف على القدمين في سن مبكرة؟

و ذلك بسبب ضعف العضلات (تغلب وزن الجسم على قوة العضلات).

يمكننا الاستفادة من ذلك في قانون نيوتن الثاني لمعرفة التعجيل أو العجلة

$$a \times m = F$$

$$m / F = a$$

ولو عوضنا عن القوة برد الفعل

$$m / Reaction = a$$

ومن معلوماتنا أعلاه فان رد الفعل = قوة العضلات – وزن الجسم

فان:

$$m / body\ weight - \text{العضلات}\ F = a$$

مثال :

ما مقدار التعجيل لجسم وزنه N800 يسلط على ارض قوة مقدارها N870؟

الحل:

F = عضلات الجسم – Weight Body /m

نجد الكتلة من خلال قسمة وزن الجسم على الجذب الارضي ($9.81\ m/s^2$)

m = F /a

m = 800 /9,81

m =82Kg تقريباً

a= 870 – 800 /82

a =70 /82

a = 0.85m/s² بما أن التعجيل موجب فان الجسم في حالة مد

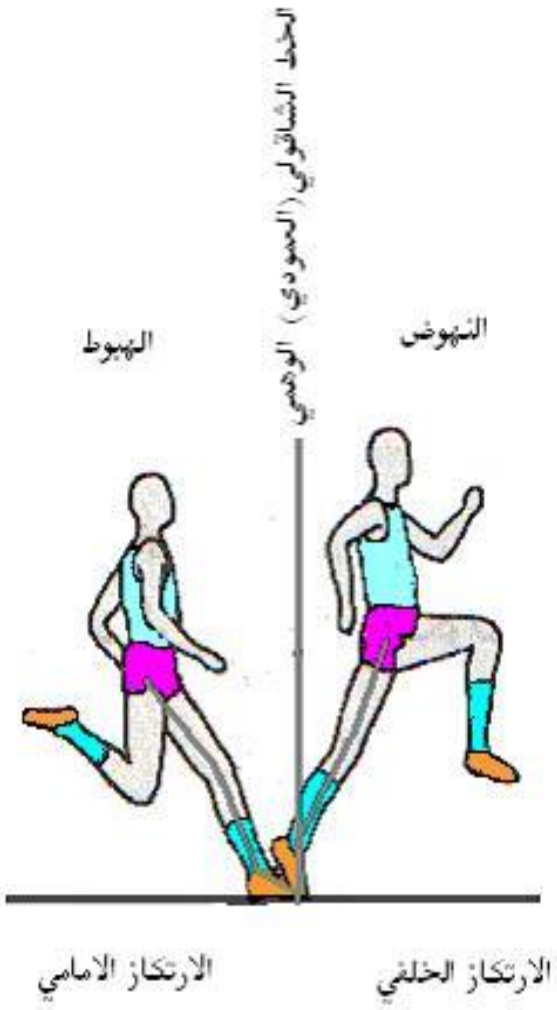
ويمكننا من خلال الشكل الاتي: أن نتوقع الخط البياني للتعجيل، إذ يتضح لاعب الوثب الطويل (العريض) في حالتين على لوحة الارتقاء الحالة الأولى الهبوط والثانية الانطلاق (نرسم من مشط اللاعب خطا عموديا وهميا إلى الأعلى فيكون في حالة الارتكاز الأمامي عندما يكون الخط الوهمي أمامه وبالعكس يكون في حالة الارتكاز الخلفي عندما يكون الخط خلفه)، وبما إن اللاعب يثني ركبته بعد هبوطه على لوحة الارتقاء فالخط البياني سيكون بالاتجاه السالب.

أما إذا كان الدفع على سطح الأرض بشكل مائل مثلما هو واضح في مرحلة الارتكاز الخلفي (الشكل أعلاه) فان القوة تتحلل إلى مركبتين (إذا كانت تمر بمركز كتلة الجسم) احداهما المركبة الأفقية والتي ستتعامل مع اتجاه الحركة إذ سيكون رد الفعل بعكس اتجاه الحركة أي لا تتعامل مع وزن اللاعب، والمركبة الأخرى ستكون عمودية
وهي مثلما مر سابقا، أي:

Horizontal acceleration =F/m على الأغلب فا
ن التعجيل الأفقي سيتعامل مع قوة الاحتكاك والذي تم إهماله

=Vertical acceleration
m /Weight Body – F عضلات الجسم

وعن طريق قانون فيثاغورس يمكننا من إيجاد المحصلة للتعجيل



كيف يتصرف النظام الميكانيكي في الهواء؟

- إذا كان الجسد البشري في الهواء يمثل 'نظاماً معزولاً' يخضع لقانون نيوتن الأول في مساره العام، ولكنه 'نظام مضطرب' داخلياً بفعل قانوني نيوتن الثاني والثالث.. فكيف يمكن للرياضي أن يستخدم 'الفعل الداخلي' لخلق 'رد فعل افتراضي' يغير من عزم القصور الذاتي دون وجود نقطة ارتكاز خارجية؟ وهل براعة الأداء تكمن في (توليد القوة) أم في (إدارة تلاشي الأخطاء) لحظة انعدام الوزن؟"
- لحل هذا اللغز، يجب الربط بين القوانين في بيئة "عدم الارتكاز":
- 1. معضلة نيوتن الثالث في "الفراغ الميكانيكي":
- يكمن التحدي ان قانون نيوتن الثالث يتطلب سطحاً (فعل ورد فعل). و في الهواء، لا يوجد سطح.
- السؤال الجوهري: كيف يصنع الرياضي (رد فعل داخلي)؟ من خلال تحريك طرف (كتلة صغيرة بتسارع عالٍ - نيوتن 2) ليولد رد فعل على باقي الجسد (كتلة كبيرة بتسارع منخفض). هنا المهارة هي "خلق نقاط ارتكاز وهمية من الكتلة نفسها".

- 2. **حقيقة نيوتن الأول مع "التشكل الحركي":**
- يفرض قانون نيوتن الأول يفرض بقاء "مركز الكتلة" في مساره المقذوف.
- ان رياضي النخبة يتلاعب بـ "توزيع الكتلة" حول المركز. و السؤال هنا: هل تغيير (شكل الجسم) في الهواء هو تطبيق لنيوتن الثاني أم تحايل على نيوتن الأول؟
- الفهم المعمق سيشرح أن الرياضي لا يغير "المسار" بل يغير "الوضعية الفراغية" حول المسار ليوسع هامش التوازن و تقليل الأخطاء مع الحفاظ على عنصر الدقة.
- 3. مفارقة نيوتن الثاني و"الضجيج الحيويا او الحركات الزائدة":
- القوة تساوي الكتلة في التعجيل (F = m.a).
- في المهارات الدقيقة، كل "تعجيل" داخلي لتصحيح المسار يولد بالضرورة "رد فعل" مضطرب في مكان آخر من الجسد.
- و التساؤل هنا هل المهارة هي (إضافة تسارع) أم (امتصاص التسارع الزائد)؟ هنا نربط بين الاقتصاد بالجهد وبين قدرة العضلات المركزية على امتصاص "الضجيج الميكانيكي" لكي لا ينتقل للكرة أو لنقطة الهبوط.

ملاحظة مهمة جدا

لا يمكن بأي حال من الاحوال فصل قوانين نيوتن عن بعضها او بعبارة اصح فأن تأثيرات القوة هي متبادلة بين القوى الداخ لية و الخارجية.

أي ان القوانين الثلاث تعمل متزامنة و في آن واحد.

و الذكاء يأتي من عملية تحليل الأداء و فهم (دور القوة من خ لال تفسيرات قوانين نيوتن)

مقاربات بايوميكانيكية رقمية

أولا: مؤشر الكفاءة الميكانيكية Mechanical Efficiency Index – MEI

- ينقلنا هذا المصطلح من مجرد قياس القوة الى قياس القوة الموجهة و من خلال قوانين نيوتن للحركة.
- و هو يمثل (النسبة بين القوة الفعالة (القوة الصرفة التي تساهم في الحركة باتجاه الهدف) الى اجمالي القوة الناتجة (هدف القوة و من ضمنها القوى المهدورة افقيا و عموديا).
- و من تطبيقاتها مثلا في انطلاقة الاركاض بدلا من قياس كمية القوة الكلية الناتجة من دفع القدم للأر ض (F total) نقيس (F horizontal) فقط

  MEI=F horizontal / F total . 100
- نجد ان رياضيي النخبة يمتلكون MEI يقترب من 85% في مرحلة التسارع بعد الانطلاق، بينما قد يبذ ل المبتدئين قوة هائلة لكن MEI لديه لا يتجاوز 60% بسبب ضياع القوة في الارتفاع العمودي الزائد.
- أهمية هذا المؤشر تأتي من إمكانية مراقبة المدرب لتطور MEI يمثل تقيما رقميا حقيقيا لتقييم تحسن "التكنيك" بمعزل عن مقدار القوة العضلية، و بالتالي الانطلاق لاحقا لتدريبات القوة من خلال العلاقات الفيزيائية.
- سؤال: هذا المؤشر مشتق من أي قانون لنيوتن؟ 3

المصادر

1.سمير مسلط الهاشمي؛ البايوميكانيك الرياضي، ط3: (بغداد، النبراس للطباعة والتصميم،2010).

2.صريح عبدالكريم الفضلي؛ تطبيقات البيوميكانيك فى التدريب الرياضى والاداء الحركى، ط2: (بغداد، جامعة بغداد، 2010).

3.صريح عبدالكريم الفضلي ووهبي علوان البياتي؛ موسوعة التحليل الحركى، ج1: (بغداد، مطبعة العكيلي ، 2007).

4.طلحة حسام الدين؛ مباديء التشخيص العلمي للحركة: (القاهرة، دار الفكر العربي، 1994).

5.محمد جاسم محمد الخالدي؛ البايوميكانيك في التربية البدنية والرياضة: (بغداد، جامعة الكوفة، 2012).

6.ياسر نجاح حسين واحمد ثامر محسن؛ التحليل الحركي الرياضي: (النجف الاشرف، دار الضياء للطباعة ، 2015

7.د.حسين مردان؛ محاضرات في البايوميكانيك: (كلية التربية الرياضية، جامعة القادسية).

8.James G.Hay; The Biomechanics of Sports Techniques, 3rd edition: (New Jersey, prentice – Hall,1985).

9.Susan J.Hall; Basic Biomechanics, sixth edition: (New York, McGraw – Hill, 2012).

شكرا لطيب الاستماع