

التطبيقات الأساسية لقوانين نيوتن في الحركات الرياضية

في القرن السابع عشر الميلادي، اقترح عالم الرياضيات الإنجليزي السير إسحق نيوتن ثلاثة قوانين للحركة، وقد مكّنت هذه القوانين العلماء من وصف وتفسير حركات الاجسام الجامدة والحية على حد سواء، والذي يهمننا في البايوميكانيك الرياضي هو كيفية التعامل مع هذه القوانين وبما يفسر المسارات الحركية للفعاليات الرياضية وكيفية حدوثها باختلافها سواء اكانت خطية او دورانية ومن خلال معرفة او فهم هذه الحركات من الناحية الميكانيكية فأن ذلك يمكننا من تطوير الانجاز، مع الاخذ بنظر الاعتبار ان هناك خصوصية في التعامل مع قوانين نيوتن في الفعاليات الرياضية او الحركات العامة التي يقوم بها الانسان لاسباب عدة متداخلة منها فلسجية ونفسية فضلا عن اسباب اخرى تتعلق بطبيعة الجسم البشري.

لكي نفهم القوانين الثلاث الأساسية للحركة وجب علينا ان نفهم القوة Force من الناحية الميكانيكية والتي تطرقنا اليها في اكثر من موضع حيث انها تعني الفعل الميكانيكي الذي يغير او يحاول ان يغير من حالة الجسم الحركية او الشكلية، ومن خصائصها:-

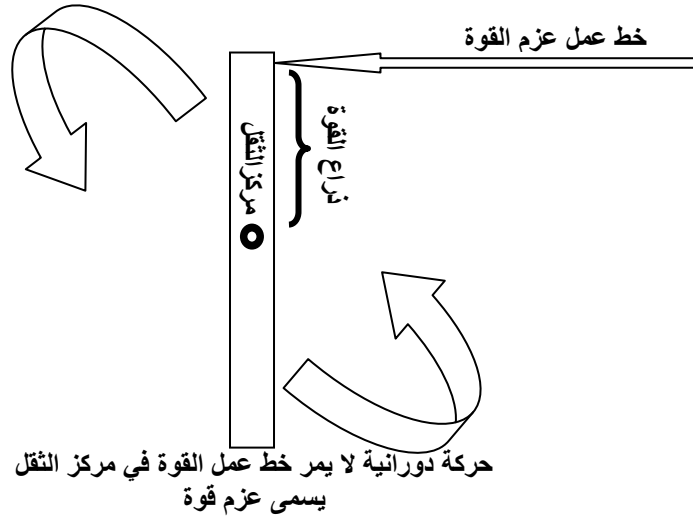
- القوة تسلط او تنتج من قبل جسم لكي تؤثر على جسم آخر.
- القوة لها مقدار واتجاهها و تقاس القوة بوحدات النيوتن او الداين.
- تعد احدى مظاهر التأثير المتبادل بين جسمين ويظهر التأثير على كليهما(قانون نيوتن الثالث).

- اذا سلطت قوتان على جسم واحد في الوقت نفسه فإن تأثيرهما يكون مكافئ لتأثير قوة واحدة تعبر عن محصلة القوتين وتحسب من خلال قوانين المتجهات.

قبل الخوض في المفاهيم التفصيلية لقوانين نيوتن الخاصة بالحركة لآبد من ان نفهم من ان خط عمل القوة ونقطة تأثيرها هما اللذان يحددان طبيعة الحركة، حيث اذا مر خط عمل القوة في مركز ثقل الجسم اي تطابقت نقطة تأثير القوة مع مركز ثقل الجسم اكتسب الجسم كمية حركة خطية، وفي الجانب الثاني اذا اثرت القوة على الجسم في نقطة خارج مركز ثقل الجسم اي ببعد عمودي عن محور الدوران اكتسب الجسم حركة دويرة تعتمد كميتها على مقدار البعد عن المحور.

حركة خطية يمر خط عمل القوة في
مركز الثقل





قانون نيوتن الاول (القصور الذاتي) Inertia

كل جسم يستمر في سكونه او حركته الخطية او الدائرية ما لم تؤثر عليه قوة خارجية .

يعرف هذا القانون بقانون الاستمرارية او عزم القصور الذاتي Moment of inertia وأصل المصطلح يعني الكسل او الخمول وهو من اللغة اللاتينية، وهو صفة موجودة في كل الاجسام الحية او غير الحية.

ان التفسير السابق والمتعلق بمقاومة الاجسام لتغير حالتها ينطبق ايضا على الفعاليات الرياضية حيث ان العداء في سباق ١٠٠ متر يستمر في ركضه الا اذا كانت هناك قوة توقفه او تقلل من سرعته (ماهي هذه القوة؟)، حيث يصعب عليه التوقف فجأة، وكذلك فإن القفز لمسافة بعيدة يتطلب من الرياضي الركضة من مسافة وبسرعة

معينة لتحقيق تلك القفزة اي هناك قوة لتغير حالة الجسم الحركية، ان مادة جسم الرياضي او الاداة التي يستخدمها تحاول الاستمرار في حالتها من السكون او الحركة الا اذا حدث تأثير من قوة خارجية تتغلب على قصورها الذاتي.

ان التعامل في قانون نيوتن الاول يكون من خلال حالتين هما السكون او الحركة ففي الحالة الاولى السكون فان محصلة القوى المؤثرة على الجسم يجب ان تساوي صفراً وفي حالة عدم تساوي او تتعادل هذه القوى فيتحول الجسم الى حالة الحركة وهذا ينطبق على الحركة الخطية والدائرية.

العوامل المؤثرة في قانون نيوتن الاول (القصور الذاتي):-

١- يرتبط القصور الذاتي للجسام بمقدار كتلتها حيث ان مقدار القوة التي يبذلها الجسم للمحافظة على وضعه من السكون او الحركة يعتمد على مقدار كتلته وهنا التناسب طرديا بين الكتلة والقوة المطلوبة للمحافظة على الوضع او تغير الوضع الحركي للجسم، من هنا جاء التقسيم لفعاليات رياضية مثل رفع الاثقال والمصارعة والملاكمة وغيرها من الالعاب والفنون القتالية حسب الفئات الوزنية (تعلييل)، حيث ان الكتلة تلعب دوراً حاسماً في كل الفعاليات الرياضية، ففي الجمناستك يكون هدف القوة باتجاه التغلب على وزن جسم اللاعب من هنا فان لاعبي الجمناستك من الضروري جدا ان يستمروا بالمحافظة على عدم زيادة كتلتهم مع العمل على تطوير القوة باتجاه التغلب على وزنهم او القصور

الذاتي لأجسامهم، وفي فعاليات المصارعة والملاكمة ... الخ نلاحظ ان كتلة اللاعب مهمة جدا في التأثير على الخصم وهكذا للفعاليات الرياضية الأخرى.

٢- الحالة الحركية للجسم، حيث ان الجسم الساكن يحتاج الى قوة اكبر للتغلب على قصوره الذاتي من الجسم المتحرك اي ان تغيير الحالة الحركية للجسم المتحرك يكون اسهل من الجسم الساكن، نقصد بتغيير الحالة الحركية هو زيادة السرعة من خلال زيادة مقدار القوة المؤثرة بثبات كتلة الجسم ؟ (راجع موضوع الزخم .. في محاضرة سابقة)، ومن الممكن ان يكون لدى المدرب الالمام بذلك حيث ان العمل على زيادة السرعة او التغيير في التعجيل اثناء العمل يكون له الاثر الاكبر في احداث التطور البدني المطلوب مع مراعاة المسارات الحركية وبما أن كتلة الرياضي ثابتة فإن تغيير السرعة هو المطلوب كجانب تدريبي في هذا الجانب، يظهر ذلك ايضا في تنفيذ الركلات الثابتة والمتحركة في كرة القدم وكذلك عند حدوث التصادم بين لاعبين احدهما ثابت والآخر متحرك في الارض او في الهواء - اثناء القفز.

٣- يتمثل العامل الثالث بمساحة قاعدة الارتكاز التي ينطلق منها الجسم لتنفيذ الواجب الحركي، والتناسب طردياً بين مساحة قاعدة الارتكاز ومقدار القصور الذاتي للجسم، من هنا كان لوقفة البداية في الكثير من المهارات الرياضية المختلفة الاثر الاكبر في تحقيق استقرار اكبر لدى الرياضي، فالمصارع يؤكد على الوقفة بقاعدة

واسعة للمحافظة على الاستقرار العالي سيما اثناء الاشتباك مع الخصم وكذلك في الملائمة فإن وقفة الاستعداد تكتسب أهمية كبيرة لمنع سقوط اللاعب بسهولة، ان القاعدة الواسعة والمتوازنة للجسم تمنع من خروج مركز ثقله خارج قاعدة الارتكاز وتحدد زاوية سقوطه وهو من العوامل المهمة التي تحدد مقدار القصور الذاتي للجسام.

٤- ارتفاع مركز ثقل الجسم هو من العوامل التي تحدد مقدار القصور الذاتي وتكون العلاقة عكسية حيث ان زيادة ارتفاع مركز ثقل الجسم يقلل من قصوره الذاتي وانخفاض مركزالثقل يزيد من القصور الذاتي، نلاحظ ان الاطفال بأعمار صغيرة (٤-٦ سنوات) تكون خطواتهم غير مستقرة بسبب ارتفاع مركز ثقلهم بالنسبة لاطوالهم.

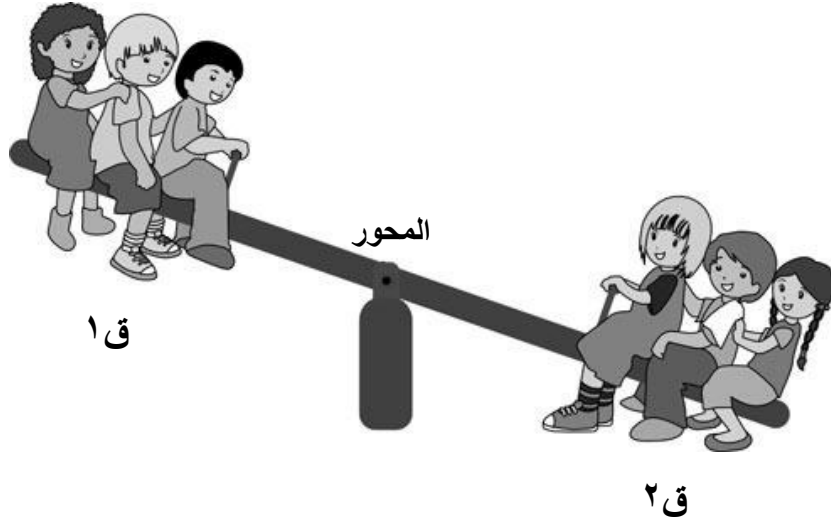
٥- تعد طبيعة الارض من العوامل المؤثرة في القصور الذاتي للجسم لكي نتغلب على القصور الذاتي لجسم على سطح املس او صقيل نحتاج الى قوة اقل مما لو كان السطح خشنا او متعرج، ان ذلك يتضح لنا من خلال ممارسة فعاليات رياضية مختلفة على ارضيات مختلفة، لعب كرة القدم على التارتان وعلى العشب او التدريب على ارض رملية والتدريب على ارض اسفلتية وغيرها.

عزم القوة:-

ان القوة المطلوبة لاحداث الحركة الدورانية لاي جسم تعتمد على مقدارها فضلاً عن بعدها العمودي عن محور، ولنفترض ان القوتين

ق١، ق٢ يؤثران على الجسم المبين في الشكل نلاحظ حتى لو كانت القوتان ق١=ق٢ اي ان مجموع القوى المؤثرة على الجسم تساوي صفراً فالجسم يتحرك حركة دورانية حيث أن شرط التساوي او الصفر يعني استمرار الحركة الدورانية مع بقاء نقطة واحدة في منطقة السكون وهي مركز ثقله.

ان عزم القوة = القوة x بعدها العمودي عن محور الدوران
عزم القصور الذاتي = ق x نق^٢



يحدث التوازن في حالة تساوي القوتين والبعد عن محور الدوران

بما ان قيمة عزم القصور هي عبارة عن ناتج ضرب القوة في المسافة العمودية (نصف قطر الدوران) فإن وحدة القياس هي الكيلو غرام.متر، ومن هنا فإن تأثير قوتين كبيرتين يحدثان نفس عزم

الدوران اذا ما كانت النسبة بين القوتين تساوي عكس النسبة بين ذراعيها.

$$\frac{ق١}{ق٢} = \frac{نق٢}{نق١}$$

يزداد عزم القصور الذاتي بزيادة البعد عن محور الدوران مع ثبات الكتلة وهذا العامل هو الذي يحدد سرعة الدوران او التعجيل الزاوي، ويمكن الاستفادة من ذلك في التدريب من خلال تقليل انصاف الاقطار لزيادة السرعة الزاوية او زيادة اوزان الاجزاء من خلال استخدام اوزان اضافية، ولابد من الانتباه الى تأثير القوى المركزية واللامركزية اثناء حدوث الحركات الدورانية، مع ملاحظة ان اجزاء الجسم ترتبط فيما بينها من خلال مفاصل تتم عليها ومن خلالها الحركات والانتقال من جزء الى آخر.



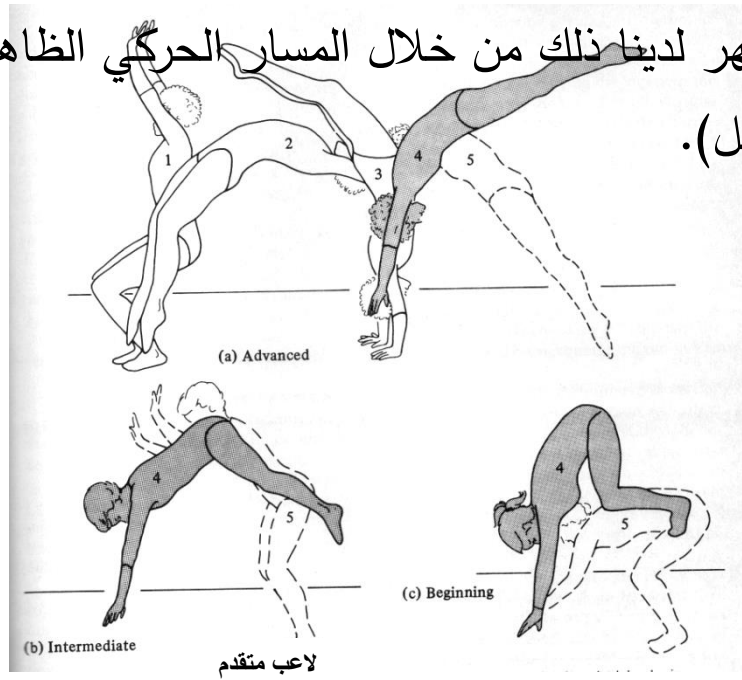
ان عزم القصور الذاتي هو العامل الرئيس في الحركة الدورانية، والكتلة هنا لها نفس التأثير في الحركة الخطية وان سرعة الدوران او التعجيل الزاوي تحدد من خلال كتلة الجسم وبالتالي تتحدد قيمة الزخم الزاوي او كمية الحركة الزاوية.

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

$$\text{الزخم الزاوي} = \text{الكتلة} \times \text{السرعة الزاوية} \times \text{نق}^2$$

ان المبدأ السابق من الممكن ان يدخل في تحديد شكل الاداء المهاري الجيد للاعب متقدم والاداء للاعب مبتدئ عند أداء نفس

المهارة ويظهر لدينا ذلك من خلال المسار الحركي الظاهري للمهارة (لاحظ الشكل).



لاعب مبتدئ

لاعب ناشئ

لاحظ انصاف الاقطار وعلاقته بالمسار الحركية وجمالية الاداء

ان فهم العلاقة بين عزم القصور الذاتي يتوضح لنا من خلال الكثير من الفعاليات الرياضية مثل الرقص على الجليد والباليه والحركات الاكروبايكية في الجمناستك، حيث ان اللاعب يعمل على تقريب اجزاء جسمه من محور الدوران عند زيادة السرعة ويبعد اجزاء جسمه عن مركز الدوران عندما يريد ان يقلل من سرعة الدوران، اي ان تنظيم العلاقة بين عزم القصور الذاتي والسرعة الزاوية يتم من خلال التحكم بانصاف اقطار الدوران، وهذا ناتج من خلال العلاقة العكسية بين السرعة الزاوية ونصف قطر الدوران حيث ان :-

السرعة المحيطية = السرعة الزاوية X نق راجع موضوع الكينماتيك الزاوي؟

وبما ان

الزخم الزاوي = الكتلة X السرعة الزاوية X نق^٢

ومن تنظيم العلاقة والتعويض عن السرعة الزاوية في معادلة الزخم نجد ان :-

ان العلاقة السابقة هي التي توضح فعالية الحركات التي يقوم بها الرياضي اثناء رمي القرص او مهارات الجمناستك وغيرها من المهارات.

- قانون نيوتن الثاني (قانون التعجيل) Acceleration :-

تعد القوة العامل الرئيس لحدوث الحركة وان مقدار الحركة وكميتها متعلق بمقدار القوة المؤثرة وهذا القانون يعد القاعدة الميكانيكية الرئيسة لجميع الحركات وينص القانون على :-
 يتناسب تعجيل الجسم طردياً مع مقدار القوة المؤثرة عليه وتكون الحركة باتجاه القوة.

اي ان :-

$$\text{القوة} = \text{الكتلة} \times \text{التعجيل}$$

$$ق = ك \times ج$$

من المعروف ان الحركة عبارة عن ناتج التأثير المتبادل بين القوة الداخلية والقوى الخارجية اي هناك عملية فعل ورد فعل وكما سيتم التطرق اليه في القانون الثالث، وهذا يتحدد من خلال كون القوة الداخلية هي قوة العضلات التي تعمل على انتاج 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. او من الملاحظ ان كتلة الرياضي تلعب دوراً مهماً في الاداء الحركي سيما في الفعاليات التي تلعب فيها الكتلة دوراً حاسماً في تحقيق الانجاز مثل المصارعة والملاكمة والكثير من الفعاليات الاخرى حتى في الاركاض فأن القوة المنتجة من قبل الرياضي تتناسب مع مقدار كتلته.

مثال:-

احسب مقدار التعجيل الناتج من قوة مقدارها ١٠٠ نيوتن على ثقل كتلته ١٠ كغم؟
(ج) $ق = ك \times ج$
 $١٠٠ = ١٠ \times ج$

$ج = ١٠٠ / ١٠ = ١٠$ م/ثا^٢ مقدار التعجيل الذي يكتسبه الثقل وهناك الكثير من الامثلة التي من الممكن ان نطبقها على هذا القانون، ففي مصارعة السومو اليابانية يعتمد المصارع على كتلته في احداث تغيير في كتلة خصمه وهذا هو الاساس في اسقاط الخصم داخل الحلبة، ان الاساس هو في تغيير الكتلة او في انتاج القوة لزيادة كمية الحركة الخطية.



لاحظ تأثير الكتلة في اكساب التعجيل

من خلال هذا القانون فإن عمليات التدريب يجب ان تتم باستخدام الاوزان ضمن شكل المسارات الحركية والمحافظة عليها (تدريب المصارعين مع خصوم اكثر من وزنهم او استخدام ادوات رمي اثقل في فعالية الساحة والميدان)، وان ثبات كتلة الرياضي يقابله زيادة القوة الموضوعية 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 ٨٠٠ نيوتن تمكنه من قطع مسافة سباق ١٠٠ م بتعجيل قدره ١٠ م/ثا^٢؟

$$ج) ق = ك \times ج$$

$$٨٠٠ = ك \times ١٠ م/ثا^٢$$

$$ك = ٨٠٠ / ١٠ = ٨٠ كغم مقدار كتلة العداء (احسب مقدار$$

القوة التي ينتجها عداء كتلته ١٢٠ كغم).

ان الاستخدام الاخر لهذا القانون يتعلق بدقة التهديد من مسافات مختلفة مثلا في كرة اليد او كرة السلة حيث ان استخدام القوة لكل حالة يختلف عن الحالة الاخرى لاكساب الكرة التعجيل المناسب مع حالة التهديد المطلوبة.

س) رامي ثقل يصدر قوة مقدارها ١٢٠٠ نيوتن بسرعة ٦ م/ثا

وبزمن ٠,٥ ثانية ، احسب كتلة الرامي؟

قانون نيوتن الثاني في الحركة الدورانية:-

ان تعجيل الجسم يتناسب طرديا مع مقدار الزخم الزاوي وتتعلق بمقدار البعد العمودي لنقطة تأثير القوة (نصف قطر الدوران).

$$\text{الزخم الزاوي} = \text{عزم القصور الذاتي} \times \text{السرعة الزاوية}$$

هناك علاقة يتأثر فيها عزم القصور الذاتي بالزخم الخطي والذي يولد عزم دوراني يتحدد من المجذاف حيث ان اطالة الذراع (راجع العتلات) يؤدي الى الاقتصار بالقوة أي استخدام اقل للقوة فضلا عن زمن تأثير هذه القوة سيكون اقل لانتاج الحركة، بمعنى آخر توليد عزم قوة بزمن اقل لانتاج دفع دوراني.

اطالة نصف قطر الدوران يزيد من مقدار الدفع - يعمل رماة المطرقة على زيادة نصف قطر الدوران في قبل اطلاق المطرقة



ملاحظة: ناقش ذلك فعاليات رياضية اخرى.....

القانون الثالث (قانون الفعل ورد الفعل) Action & Reaction

لكل فعل رد فعل يساويه بالمقدار ويعاكسه بالاتجاه.
ان هذا القانون يفسر حركة الاجسام فضلا عن تفسير التأثير المتبادل بين القوى الداخلية والخارجية، ويعد هذا القانون الاساس في فهم ناتج تأثير القوة على حركة الاجسام.



الرياضي ينتج رد فعل معاكس اثناء الركض



الفعل ورد الفعل اثناء الوثب العريض

أحياناً يكون من الصعوبة بمكان التعرف على ردّ الفعل، فعندما تقذف كرة نحو حائط، ثم ترتدّ الكرة، فإننا لا نرى الحائط يتحرك في الاتجاه المضاد. ولكن هناك حركة صغيرة للمساحة التي ضُربت من الحائط. وإذا ارتدّت الكرة من الأرض، فإن الكرة الأرضية تتحرك في الاتجاه الآخر، ولكن لأن كتلة الأرض كبيرة للغاية، فإن

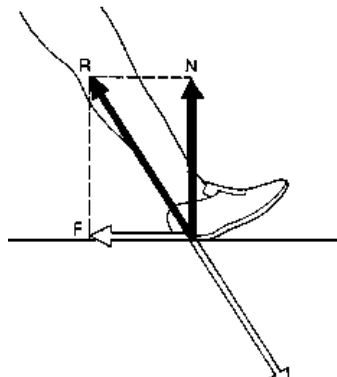
هذه الحركة تكون ضئيلة جدًا ولا نستطيع أن نميزها، وهذا ينطبق في حالة القفز العمودي أو الوثب العريض يظهر رد الفعل على جسم القافز وليس على الأرض؟؟.

ان وجود قوتين متساويتين في المقدار ومتضادتين في الاتجاه يظهر لنا في الكثير من الحركات الرياضية التي هي عبارة عن فعل ورد فعل وبحسب نوع المهارة، وهذا هو ما نطلق عليه التأثير المتبادل بين قوة العضلات والقوى الخارجية الأخرى مثل قوة الجاذبية والاحتكاك، ولكن المفهوم ضمن قانون نيوتن الثالث.

ان القوة التي يسلطها الرياضي هي على الأرض عبارة عن وزنه وهي تكون باتجاه الأرض، وفي كل الفعاليات الرياضية فإن القوة المسلطة تكون باتجاه واحد وتكون قوة رد الفعل بالاتجاه المعاكس.

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

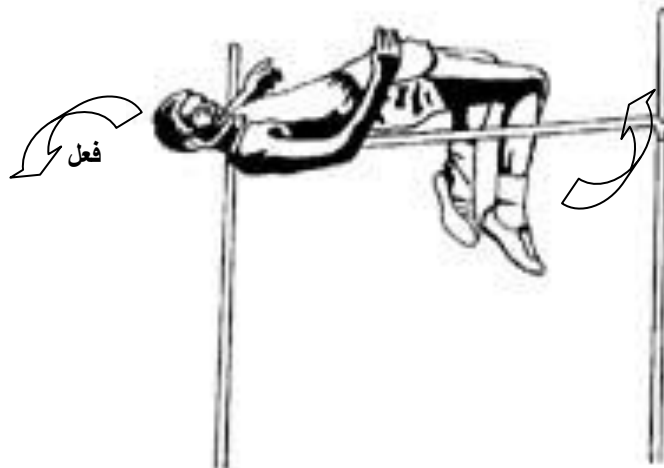
وقوة رد الفعل متجهة تتعلق بالزاوية التي يتم التأثير فيها وتكون على نفس خط عمل القوة المؤثرة وكما يظهر في الشكل.



ان ترك العداء لمنصة الركضة بقوة يدفعه الى الامام بنفس القوة، وكذلك في السباحة حيث ان عملية السحب تولد في الوقت نفسه دفع الجسم الى الامام وتناسب ذلك مع مقدار قوة السحب بالذراع اثناء السباحة الحرة، ومن الامثلة الاخرى ارتداد كرة السلة من الارض حيث ان ارتفاعها يتحدد من خلال مقدار قوة ارتطامها بالارض كرد فعل لذلك.

قانون الفعل ورد الفعل في الحركة الدورانية:-

لكل عزم قوة مؤثر عزم اخر مساوي له ومعاكس بالاتجاه ويحدث في نفس اللحظة، ويظهر تطبيق ذلك في الكثير من الفعاليات الرياضية ففي القفز العالي فأن عملية ارجاع الرأس الى الخلف فوق العارضة يؤدي الى رفع القدمين فوق العارضة كرد فعل.



رد فعل

في الموانع فأن عملية ثني الجذع تؤدي الى ان تتجه الساق القائدة
بأتجاه الجذع كرد فعل ، ان سرعة الاداء يتوافق مع المهارة لاجل
تحقيق الهدف الحركي المطلوب.
ناقش حالات اخرى مشابهة في فعاليات رياضية اخرى.



بعض العلاقات الحسابية التي لها ترابط بين السرعة والقوة والقدرة

والطاقة الحركية :-

اولاً- بما ان :-

$$\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{القدرة}}{\text{القوة}} = \text{السرعة}$$

∴ القدرة = القوة × السرعة.....

∴

$$\frac{\text{السرعة}}{\text{القدرة}} = \frac{1}{\text{القوة}}$$

أو العلاقة الثانية من خلال قانون الطاقة الحركية حيث ان :-

$$\text{الطاقة الحركية} = \frac{1}{2} \text{ك} \times \text{س}^2$$

حيث ان ك : الكتلة

س : السرعة

∴ السرعة = $\sqrt{\frac{2 \text{ الطاقة الحركية}}{\text{ك}}}$