أنواع الحركات من حيث مسارها الهندسى

يمكن تقسيم الحركة من حيث المسار الهندسى لها إلى ثلاثة أنواع :

(١) الحركة الخطية (الانتقالية) :

حيث يتحرك الجسم أو النظام فى خطوط متوازية، أثناء انتقاله فى خط مستقيم، كحركة الجسم ككل أثناء المشى أو الجرى أو قد يكون هذا الخط المستقيم منحنيًا، كما هو الحال فى مسارات الطيران بشكل عام (الوثب الطويل ـ الوثب العالى ـ حركة الجلة أو الرمح أو القرص فى الهواء. .الخ).

(٢) الحركة الدورانية :

وفيها ترسم نقطة من الجسم أو النظام دائرة أو شبه دائرة أو قوس من دائرة حول محور قد يكون داخل الجسم أو خارجه وقد يكون هذا المحور ثابت أو متحرك، كالدوران حول عارضة العقلة أو الدوران فى رمى القرص أو الإطاحة بالمطرقة أو الدوران فى الهواء عند أداء مهارات الجمباز.

ويجدر الإشارة هنا إلى أن جميع حركات مفاصل الجسم البشرى هى فى الأصل حركات دورانية تتم حول محاور هذه المفاصل، فالقبض أو البسط أو التدوير للداخل أو الخارج. . . الخ كلها حركات دورانية رغم أن ناتجها النهائى قد يبدو فى حركة خطية. فعلى الرغم من أن العدو فى شكله النهائى

حركة خطية للجسم ككل من نقطة البداية حتى النهاية إلا أن حركات الأطراف المشتركة فى العدو هى فى الأصل حركات دورانية حول محاور مفاصل (القدم والركبة والفخذ) بالإضافة إلى حركات الذراعين.

(٣) الحركة العامة :

وهى تعتبر خليط من كلا النوعين السابقين أى أنها مكونة من كل من الدوران والانتقال أو الانتقال والدوران وهى الصفة الغالبة لحركات الجسم البشرى، فبينما تدور الأطراف حول محاور المفاصل أثناء المشى أو الجرى تنتقل هذه المحاور من خطوة إلى أخرى حركة انتقالية.

ومن الأمثلة الواضحة لذلك حركة لاعب الغطس عند أدائه لأى مهارة من مهارات السلم المتحرك أو الثابت، فالجانب الدورانى من الحركة يتمثل فى ما يؤديه من دورانات أو لفات حول محاور الجسم فى حين أن الجانب الانتقالى منها يتمثل فى هبوط اللاعب من ارتفاع السلم حتى سطح الماء.

بعض المعادلات المستخدمة فى تفسير حركة الجسم البشرى

أولا : الحركة الانتقالية

معنى السرعة :

عندما يجرى العدّاء فإن معدل قطعه لمسافة السباق، يعتبر مقياسًا لسرعته فإذا ما قطع العدّاء مسافة ١٢ مترًا فى من قدره ١٠ ثانية على سبيل المثال فإنه يمكن القول أن العدّاء يجرى بسرعة متوسطة مقدارها (٨. متر فى الثانية) ويمكن حساب هذه السرعة بالمعادلة:

$$\text{السرعة المتوسطة} = \frac{\text{السرعة المتوسطة}}{\text{السرعة المتوسطة}} \text{ m/s} - \frac{s}{t} = v$$

حيث (s) هى المسافة المقطوعة، (t) هى الزمن المستغرق.

ولحساب السرعة شكل آخر يسمى بحساب السرعة اللحظية، وهى تعنى سرعة العدّاء عند زمن معين أو فى لحظة معينة من لحظات السباق.

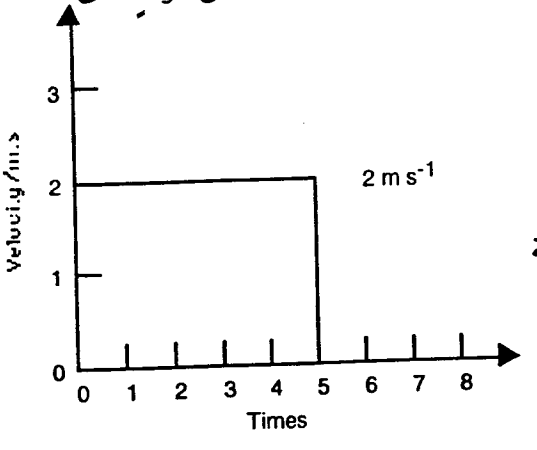
الحالة الاولى: تساوى السرعات اللحظية

فإذا فرضنا أن سرعة العدّاء كانت (٨ امتار/ث) عندما كان الزمن

(ثانيتين) من البداية فإن ذلك يعنى أنه فى حالة عدم تغير السرعة التى يعدو بها فيمكنه قطع (٨ أمتار) فى الثانية الثالثة، أما إذا تغيرت سرعته لتكون (١٠ أمتار/ث) مثلاً، فإن هذا التغيير يعنى عدم تساوى معدلات قطع المسافات فى وحدات زمنية متساوية.

وبالتالى فإن ذلك يعنى أنه ليس بالضرورة أن تساوى السرعة عند أى لحظة السرعة المتوسطة للعدّاء فى السباق.

والحالة الوحيدة التى يحدث فيها ذلك هو أن تكون سرعة العدّاء فى أى لحظة من لحظات السباق مساوية لسرعته المتوسطة فى السباق ككل ويوضح شكل (١) هذه الحالة حيث أن السرعة اللحظية فى أى لحظة من لحظات السباق متساوية، وفى هذه الحالة تكون مساوية للسرعة المتوسطة حيث أن السرعة اللحظة عند الثانية رقم (٢)، (٣)، (٤) تساوى (متران/ث) وبالتالى فإن سرعته المتوسطة هى (متران/ث). وهنا تعبر المساحة تحت المنحنى عن المسافة المقطوعة، وهذه الحالة نادرة جدًا فى أى سباق حيث أن اللاعب يتحرك بسرعة متوسطة مقدارها (متران/ث لمدة خمس ثوانٍ) أى ١٠ أمتار.



شكل (١)
تساوى السرعة اللحظة
مع السرعة المتوسطة

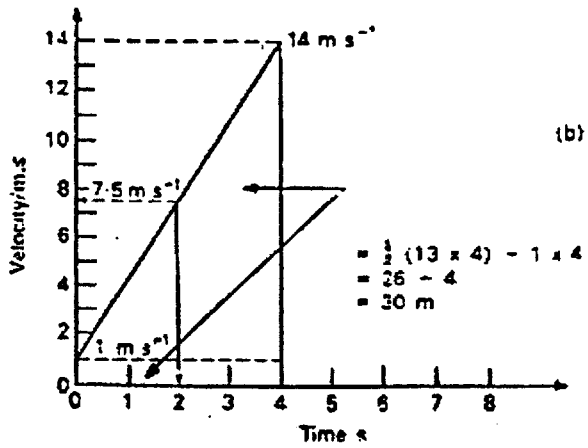
الحالة الثانية : انتظام تزايد السرعة اللحظية

قد يحدث أن يكون معدل تغير السرعة اللحظية بالزيادة معدلاً منتظمًا، بمعنى أنه فى كل ثانية تزيد السرعة اللحظية بمعدل ثابت أى أن السرعة المتوسطة تكون فى هذه الحالة عبارة عن متوسط السرعات اللحظية الابتدائية (u) وأن السرعة اللحظية النهائية (r) يمكن حسابها على النحو التالى: (شكل٢)

السرعة المتوسطة = المساحة تحت المنحنى = ٣٠ مترًا

ونظرًا إلى أن هذه المساحة قد تحققت فى زمن قدره (٤ ثوانٍ) فإن متوسط السرعة يكون (٧,٥ متر/ث).

ونظرًا إلى أن السرعة المتوسطة هى عبارة عن مجموع السرعة الابتدائية والنهائية (u, r) فإنها سوف تعادل أيضًا (٧,٥ متر/ث) وهى تعادل السرعة اللحظية عند منتصف الزمن.

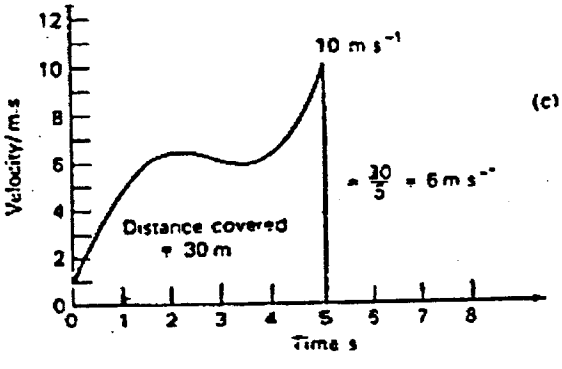


شكل (٢)

انتظام تزايد السرعة اللحظية

الحالة الثالثة : عدم انتظام تزايد السرعة اللحظية

إن عدم انتظام تزايد السرعة اللحظية يعنى عدم وجود دلالة ارتباطية بين السرعة المتوسطة وكل من السرعة الابتدائية والنهائية، فمتوسط سرعة العداء فى المثال السابق الإشارة إليه كانت (٢ متر/ث) فى حين أن سرعته الابتدائية كانت (١ متر/ث) وأن سرعته النهائية كانت (١٠ أمتار/ث)، وباستخدام المساحة تحت المنحنى حيث كانت ٣٠ مترًا أيضًا فسوف نجد أن السرعة المتوسطة فى هذه الحالة كانت $\frac{٣٠}{٥}$ أى (٦ أمتار/ث) كما هو موضح فى شكل (٣).



شكل (٣)

(c)

عدم انتظام تزايد السرعة اللحظية

العجلة :

عندما يزيد العدّاء من سرعته أو يقللها فإنه فى هذه الحالة يجرى بسرعة تزايدية أو تناقصية وهذا المعدل فى التزايد أو التناقص هو ما يطلق عليه العجلة، أى أن العجلة من الممكن أن تكون تزايدية أو تناقصية. وبالرجوع لشكل (١) سوف نلاحظ أن معدل تغير السرعة فى هذه الحالة يكون صفر

لأن السرعة لم تتغير أى أن العجلة تساوى صفراً، أما فى شكل (٢) فإن العجلة تزايدية وبقيم ثابتة.

والعجلة اللحظية تحت أى ظرف تعادل العجلة المتوسطة ويمكن حسابها من المعادلة:

$$\text{العجلة} = \frac{\text{معدل الزيادة أو النقص فى السرعة}}{\text{الزمن المستغرق}} \quad \text{متر/ث}^2$$

$$a = \frac{r - u}{t} \quad m.s^2$$

أو باستخدام المعادلة $a = u + at$

حيث (a) هى العجلة اللحظية، (r) هى السرعة النهائية، (u) هى السرعة الابتدائية.

ويوضح شكل (٣) أن العجلة غير ثابتة القيمة وبالتالى فإن استخدام هذه المعادلة غير مناسب فى حساب العجلة فى الحالات التى تتغير فيها قيم السرعة النهائية والابتدائية، باستثناء حالة واحدة هى الحالة التى لا تتغير فيها قيم العجلة.

معادلات العجلة المنتظمة

$$\frac{s}{t} = \frac{u + r}{2}$$

$$r = u + at$$

من الاستنتاجات التى يمكن الحصول عليها من المعادلتين السابقتين مايلى:

$$s = \frac{(u+r)\,t}{2}$$

$$= rt - \frac{1}{2} at^2$$

$$2at = r^3 - u^2$$

والمعادلة الأخيرة تستخدم فى دراسة حركات سقوط الأجسام من ارتفاعات، كما هو الحال فى دراسة حركة لاعب الغطس أو الترامبولين أو الجمباز، ويرجع السبب فى استخدام هذه المعادلات المستنتجة إلى أن العجلة التى تسببها قوى الجاذبية الأرضية (g) هى عجلة ثابتة المقدار وتساوى (٩,٨١متر/ث^{٢}) تقريبا.

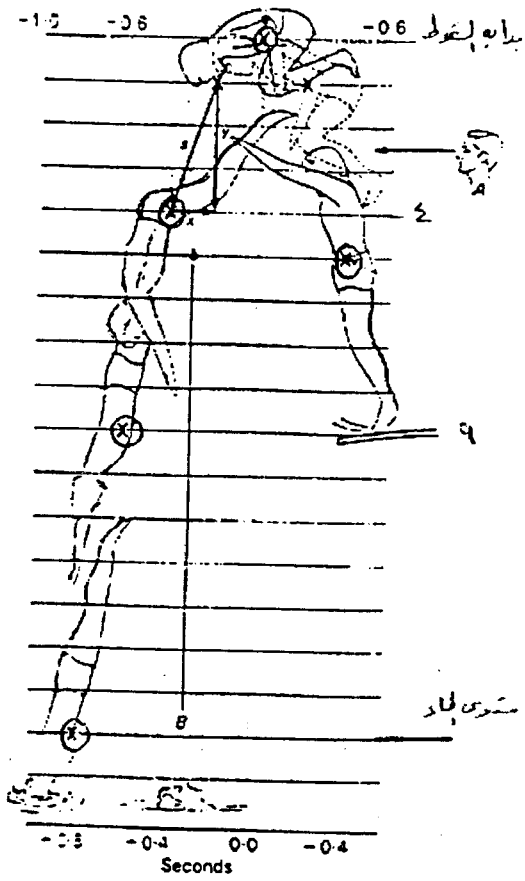
فإذا تصورنا أن اللاعب فى شكل (٤) يتحرك بسرعة ابتدائية رأسية لأسفل مقدارها (صفر) وأن العجلة التى يتحرك بها هى (٩,٨١ متر/ث^{٢}) فإن المسافة التى يتحركها

$$s = \frac{1}{2} at^2$$

حيث (U) = صفر

ومع تزايد زمن السقوط فإن معدل قطع الجسم لمسافة السقوط سوف يزيد من (١ : ٤ : ٩ : ١٦) ويمكن اختبار ذلك على الشكل.

كما يمكن ملاحظة أن ناتج المعادلة (v = U+at) سوف يصل إلى (٩,٨٠) عندما يصل الزمن (t) إلى ثانية واحدة تقريبا وأن سرعة دخول الماء هى (١٠ أمتار/ث) تقريبا وتشابه هذه الحالة حالة العدّاء فى سباق ١٠٠ متر عدو، حيث يصل إلى سرعته القصوى وهى (١٣ مترا/ث) بعد مرور (٢-٣ ثانية من البداية).



شكل (٤)

معدل قطع المسافة بزيادة زمن السقوط

ثانيا : الحركة الدورانية

تتكون معظم حركات الجسم البشرى من حركات دورانية تبدو فى مظهرها الخارجى حركات انتقالية ويمكن معالجة الحركة الدورانية بنفس قوانين الحركة الخطية باستثناء أن شكل الإزاحة (الانتقال) مختلف، فدوران الجسم حول محور بمقدار ٣٦٠ درجة أى دورة كاملة يعنى أنه تحرك بمقدار ٦,٣ زاوية نصف قطرية (Rad). والزاوية النصف قطرية تعادل ٥٧,٣ درجة وهى الزاوية المحصورة بين نصفى قطرين يعادلان فى طولهما القوس المحصور بينهما.

الدوران على مستوى فراغى واحد :

فى كثير من حركات الجسم البشرى يتحرك الجسم دورانيًا على مستوى فراغى واحد والمستوى الفراغى الواحد يعنى أن الجسم تحرك فى بعدين متعامدين يكونان هذا المستوى، وقد يتطلب الأمر ضرورة دراسة هذه الحركة بمزيد من التفاصيل عن طريق فهم ما يحدث بالنسبة لهذين البعدين، وغالبًا ما يطلق عليهم البعدالرأسى والبعد الأفقى (y ، x).

فلو فرضنا أن لاعب الغطس فى المثال السابق قد تحرك مسافة (S) خلال زمن (t) فسوف نلاحظ أنه خلال هذه المسافة قد تحرك أفقيًا ورأسيًا بنسب متفاوتة.

فسرعة اللاعب فى الاتجاه الأفقى (V_x) يمكن حسابها بناتج قسمة الإزاحة فى هذا الاتجاه على الزمن المستغرق ($\frac{x}{t}$) وكذلك السرعة فى الاتجاه الرأسى (V_y) حيث $\frac{y}{t}$ وتكون السرعة الحقيقية للاعب فى هذه الحالة هى ناتج لكل من هاتين السرعتين وذلك عن طريق المعادلة.

$$v_r = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

حيث (v_r) هى السرعة المحصلة

وبالتالى فإنه يمكن استنتاج أن (x) هنا هى جيب تمام الزاوية التى يميل بها الجسم عن المستوى الأفقى وأن (y) هى جيب الزاوية أى أن

$$Vx = Cos\ \theta$$

$$Vy = Sin\ \theta$$

وبنفس الأسلوب فإنه يمكن التعامل مع كافة المتغيرات سواء كانت كينماتيكية أو كنياتيكية لحساب الحركة فى كلا الاتجاهين الممثلين للمستوى الفراغى المعين والذى تؤدى عليه.

علاقة الحركة الخطية بالحركة الدورانية :

من الممكن أن توصف حركة النظام أو الجسم الدورانية من خلال عدة رموز لها معانيها الدورانية، واستخدام الرموز التى تفسر الحركة الدورانية يساعد فى توصيف حركة أى نقطة على الجسم أو النظام الذى يتحرك دورانيًا. حيث أن حركة النقطة تكون حركة منحنية فى مسار يمثل جزء من الدائرة وبالتالى فإن لها سرعة خطية أيضًا.

وتمثل هذه العلاقة الأساس فى تفسير حركات الأطراف فى مهارات الرمى والركل والضرب، حيث تعتمد المسافات الخطية المنحنية التى تتحركها النقط على أى جسم أو نظام فى حالة دورانه على المسافة بين النقطة ومحور الدوران والتى تمثل نصف قطر الدوران وهذا يعنى أن النقطة الأبعد بالنسبة لهذا المحور هى النقطة ذات نصف القطر الدورانى الأكبر وبالتالى فهى النقطة التى تتحرك حركة خطية أكبر كلما دار الجسم. وهذه الحركة الخطية (d) يمكن حسابها بمعلومية نصف قطر الدوران (r) فى الازاحة الزاوية

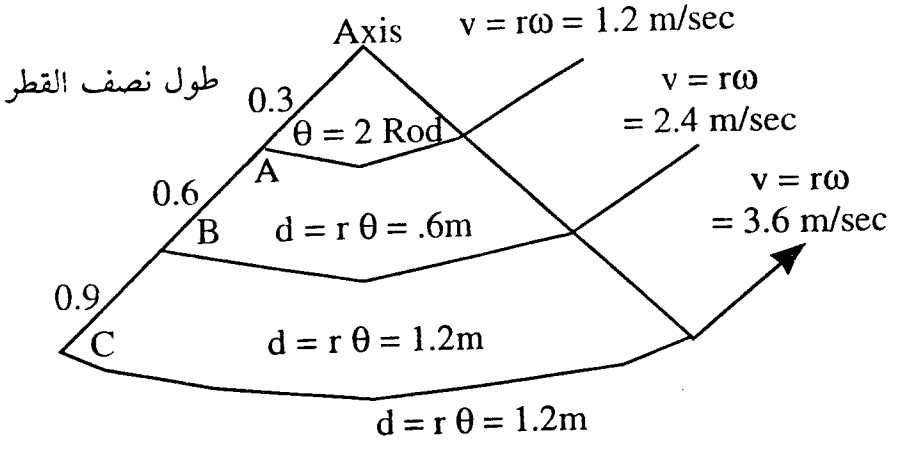
$$d = r\,\theta$$

حيث (θ) تمثل الازاحة الزاوية، ونظرًا إلى أن وحدات قياس كل من (d،r) هى (السم والمتر.. الخ) وأن قياس الازاحة الزاوية (θ) يتم بالوحدات الدائرية، فإنه تجدر الإشارة إلى ضرورة تحويل قيمة الازاحة الزاوية إلى التقدير النصف قطرى حيث كما سبق الإشارة تعادل الدرجة النصف قطرية ٥٧,٣ درجة بالتقدير الدائرى وبالتالى فإن الدورة الكاملة (٣٦٠°) مساوية ٦,٣ زاوية نصف قطرية تقريبًا.

كما أنه يمكن حساب السرعة الخطية للنقطة من خلال قيم السرعة الزاوية (ω) حيث أن العلاقة بين السرعة الزاوية والسرعة الخطية أساسها نصف القطر ويمكن حسابها عن طريق المعادلة

$$v = r\,\omega$$

فكلما زاد مقدار السرعة الزاوية أو طول نصف قطر الدوران أو كلاهما كلما زادت السرعة الخطية للنقطة، ويوضح ذلك شكل (٥).



شكل (٥) السرعة الخطية لثلاثة نقط تتحرك على جسم بسرعة زاوية ثابتة

ويكون متجه السرعة الخطية فى هذه الحالة فى خط مماس لقوس الدائرة الذى تتحرك فيه النقطة.

والمثال السابق يمكن استخدامه كقاعدة عامة فى تفسير حركات الأطراف، حيث يظهر ذلك بوضوح فى استخدام مضرب التنس حيث أن بعد نقطة ضرب الكرة مع ثبات السرعة الزاوية يؤدى إلى سرعة خطية عالية للمضرب وبالتالى سرعة اصطدام عالية لحظة ضرب الكرة.

وكذلك فثبات نفس المتغيرات على لاعبى كرة قدم مع اختلاف طول الطرف المتحرك يؤدى إلى زيادة سرعة القدم عند ركل الكرة لدى اللاعب الأطول.

القوى المؤثرة في الجسم البشرى

القـــوة :

أوضحنا فى الجزء السابق وصفًا للحركة من حيث السرعة والعجلة والمعادلات التى يمكن أن تستخدم فى تفسيرها. وسوف نتناول فى هذا الجزء القوى المسببة للحركة وكيفية دراستها بشىء من التبسيط.

تنتج القوة بصفة عامة ثلاثة أنماط من الحركة تتلخص فى:

(١) تغيير فى الشكل، حيث تؤدى القوة إلى تغيير فى شكل الجسم نفسه.

(٢) حركة خطية تؤدى إلى انتقال الجسم من مكان لآخر.

(٣) حركة دورانية يدور خلالها الجسم حول نفسه أو حول محور ثابت.

وعادة ما تحدث القوة تأثيرًا واحدًا أو أكثر من هذه التأثيرات الثلاثة الرئيسية. فركل الكرة يعتبر نموذجًا من النماذج التى تظهر فيها أنماط الحركة الثلاثة، حيث يتغير شكل الكرة لحظيا عند ركلها أى عند التأثير عليها بقوة الركل كما أنها تتحرك حركة انتقالية من مكان ركلها إلى المكان المراد توصيلها إليه هذا بالإضافة إلى دورانها حول مركزها أثناء انتقالها.

وللقوة عدة أشكال تطبيقية، إلا أنه يمكن القول أن القوى التى تؤثر فى

حركة الجسم البشرى تأتى نتيجة اتصاله سواء بالأرض أو الماء أو الهواء أو بأى جسم خارجى، وبشكل عام فهى ردود لأفعال الجسم نفسه على أى من هذه الأوساط.

هذا بالإضافة إلى وجود قوة أخرى ثابتة التأثير على جميع الأجسام وهى قوى الجاذبية الأرضية التى لا تختلف باختلاف موضع الجسم على سطح الكرة الأرضية إلا اختلافات بسيطة يمكن إهمالها. فالكرة الأرضية تؤثر على أى جسم بقوة تؤدى إلى تسارعه لأسفل بمعدل (٩,٨١ متر/ث^{٢}) تقريبًا وقد تختلف هذه القوى باختلاف أماكن وجود هذه الأجسام على الكواكب الأخرى فهى تعادل على سبيل المثال على سطح القمر ($\frac{١}{٦}$) قيمتها على سطح الأرض.

فلاعب الوثب العالى يتأثر خلال طيرانه بقوة تعمل على إعادته إلى سطح الأرض مرة أخرى وتؤدى إلى تناقص حركته لأعلى باستمرار حتى لحظة السكون والتى يبدأ بعدها فى الهبوط، ويتمركز تأثير هذه القوة فى نقطة تعرف بمركز ثقل الجسم أو مركز جاذبيته، ولا يعنى وصول الجسم إلى سطح الأرض انتهاء تأثير هذه القوة، فاستمرار تأثير قوى الجاذبية على الجسم يؤدى إلى ظهور قوة جديدة بعد عودته إلى سطح الأرض تعرف بقوة الوزن وهى قوة طبيعية ترتبط باتصال الجسم بسطح الأرض، وتعادل وزن الجسم (W). وهى تعمل على توازن الجسم رأسيًا.

وقوى الاتصال الطبيعية كما يطلق عليها تعمل دائمًا بزاوية قائمة على سطح الاتصال حيث أن اتجاه هذه القوة لا يتغير بتغيير ميل سطح الاتصال.

مما سبق يتضح أنه لدراسة القوى المؤثرة فى الجسم البشرى فإنه يجب الأخذ فى الاعتبار بالخصائص الأربعة المميزة لأى قوة. وهى المقدار والاتجاه ونقطة التأثير وخط التأثير أو خط القوة.

المقدار: وهو يعنى الكمية أو القيمة حيث يستخدم رمز النيوتن كوحدة لتمييزها وهو يعادل ٣٠٠ جرام تقريبًا.

الاتجاه: وهو يعنى مسار القوة كأن يكون أفقى أو رأسى أو بزاوية ميل محددة.

نقطة التأثير: وهى تعنى موضع تأثير القوة بالنسبة للجسم الواقع تحت تأثيرها.

خط التأثير: وهو يعنى المسار المستقيم المار بنقطة التأثير وامتدادًا لخط التأثير لذا فإنه يطلق عليه خط القوة.

رد الفعل كقوة :

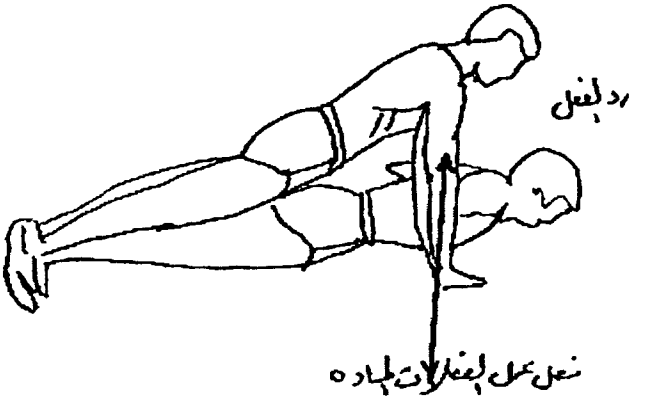
يمثل رد الفعل، المصدر الرئيسى لمعظم حركات الجسم البشرى، فالمشى والجرى والوثب ما هى إلا رد فعل الأرض على الأفعال التى تحدثها القوى الداخلية المتمثلة فى عمل العضلات والمفاصل، والقوى الداخلية هنا لا تمثل أى شكل من أشكال الحركة فى غياب البيئة الميكانيكية الخارجية التى تعادل هذه القوى بردود أفعال ينتج عنها الحركة.

فمد الذراعين من الانبطاح تعمل فيه العضلات المادة للمرفقين ومنها العضلة ذات الثلاثة رؤوس العضدية على مد المرفق والذى يعتبر فعلاً يستقبله سطح الأرض برد فعل مضاد فى الاتجاه ومساو فى المقدار فتظهر الحركة على هيئة ارتفاع الكتفين للوصول لوضع الانبطاح المائل. كما هو موضح فى شكل (٦).

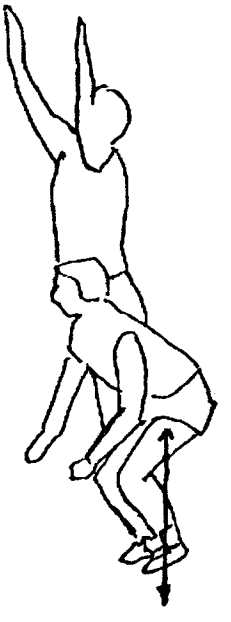
وبنفس الأسلوب تعمل العضلات المادة لمفصل الركبة والقدم على دفع الأرض لأسفل والتى بدورها تؤثر برد فعل يؤدى لطيران الجسم لأعلى فى الوثب العمودى كما هو موضح فى شكل (٧).

فسطح الأرض فى هذين المثالين السابقين يعمل كنظام يمنع استمرار حركة اليدين أو الرجلين لأسفل نتيجة لعمل العضلات المادة فتظهر فى شكل حركة عكسية لأعلى حيث أنه ليس من المنطقى أن يؤدى هذا المد إلى تحريك الأرض

كلها، فإذا ما أديت عملية المد دون الاتصال بسطح الأرض فلن يتحرك الجسم فى الاتجاه العكسى.



شكل (٦) اتجاه رد الفعل فى مد الذراعين من الانبطاح



شكل (٧) اتجاه رد الفعل فى الوثب العمودى

وتعتبر هذه العلاقة بين فعل العضلات والمفاصل ورد فعل الأرض عليها أثناء اتصال الجسم بسطح الأرض من أهم العلاقات التى تحكم حركات الإنسان بشكل عام وتحدد مداها وتفاصيلها.

قوى الاحتكاك :

وهى شكل من أشكال القوى التى تحدث على أسطح الاتصال بين الأجسام المختلفة ويظهر تأثير قوى الاحتكاك عندما يتوفر الميل إلى الانزلاق بين الأسطح المتصلة، حيث مع ظهور هذا الميل تنشأ قوة مساوية يؤثر بها الجسم الأكثر ثباتًا على الجسم المنزلق ويحدد مقدار هذه القوة عدة عوامل من أهمها طبيعة الأسطح المتصلة. حيث تزيد قوى الاحتكاك بزيادة خشونة الأسطح المتصلة، وكلما زادت القوى الطبيعية للاتصال كما سبق الإشارة فإن مقاومة الأسطح للانزلاق تزيد.

والتغيير فى مساحة الاتصال الظاهرى، لا يغير من قوى الاحتكاك بالنسبة للأسطح ذات نفس المواصفات، فمهما اختلفت مقاييس الأحذية المصنوعة من نوع واحد فإن ما يتولد بينها وبين سطح الأرض المصنوع من مادة ذات مواصفات محددة هو قوى احتكاك ثابتة القيمة.

ولكل سطح من الأسطح، معامل احتكاك ثابت له شكلين رئيسيين هما معامل الاحتكاك الاستاتيكى ومعامل الاحتكاك المتحرك (الكنياتيكى). حيث غالبًا ما يكون الشكل الأول أكبر من الثانى ويرتبط الأول بالثبات والثانى بالحركة.

والاحتكاك المصاحب لدحرجة الأجسام أقل كثيرًا من الاحتكاك المصاحب لإنزلاقها فدحرجة إطار السيارة أسهل كثيرًا من جره على نفس السطح.

ولعل من أهم الأمثلة الرياضية التى توضح قيمة الاحتكاك كعامل مساعد فى الأداء حركات المراوغة والخداع التى يعمل فيها اللاعب على التغيير المفاجىء فى الاتجاه لمراوغة الخصم بالاستعانة بقوى احتكاك عالية بين سطحى

القدمين وقد يعينه فى ذلك طبيعة سطح الحذاء المستخدم وكذلك طبيعة سطح الأرض أو الملعب.

كما تتضح هذه الأهمية فى العدو فى المنحنيات حيث تساعد المواصفات الخاصة لحذاء العدو على زيادة احتكاك القدم بأرض المضمار.

القوة الطاردة والقوة الجاذبة المركزية :

عند دوران الأجسام حول محاور ثابتة أو شبه ثابتة فإن حركة الأجسام بحكم قصورها تعمل على توليد قوة غير مرغوب فيها تسمى بقوة الطرد المركزى، حيث أنها قوة تتخذ اتجاه طرد الجسم خارج محيط الدائرة التى يدور فيها.

وتعادل هذه القوة مع بقاء الجسم فى حالة دوران، قوة مساوية ومضادة تعرف بقوة الجذب المركزى.

وكما سبق وأشرنا إلى أهمية نصف قطر الدوران فى حسابات الحركة الدورانية فإن لطول نصف القطر أهمية كبيرة فى تحديد مقدار كل من هاتين القوتين.

ومن أكثر الأمثلة التطبيقية فى الحياة اليومية تطبيقًا لهذا المبدأ تلك الميول التى تلاحظ فى المنحنيات فى الطرق السريعة حيث أن تغيير مسار السيارة المسرعة فى الاتجاه المنحنى يؤدى إلى ظهور قوة طاردة للخارج تلعب كل من كتلة السيارة وسرعتها ودرجة الانحناء فى تحديد مقدارها، لذا فإن هذه الميول تعمل على تخفيف حدة تأثير قوى الطرد المركزى.

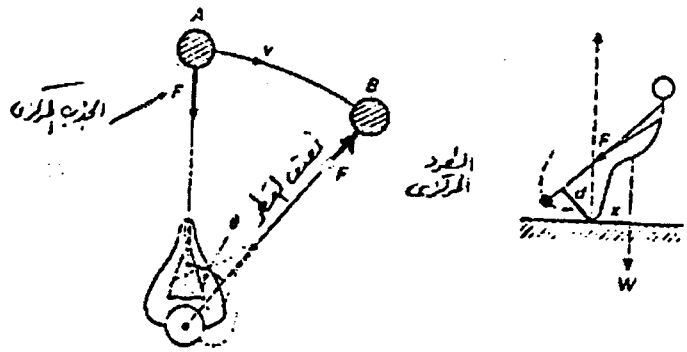
وفى المجال الرياضى يلاحظ ميل العداء للداخل عند العدو فى المنحنيات وتحدد درجة الميل هنا سرعة اللاعب فكلما زادت سرعة اللاعب زاد ميله للداخل لمواجهة ما يتعرض له من طرد للخارج.

كما أن حركات الدورانات الكبرى على جهاز العقلة أو اللفات التى يؤديها لاعب المطرقة أو القرص، تعتبر من النماذج التى توضح كيفية الاستفادة من هذه الظاهرة الطبيعية فى أداء حركات أكثر صعوبة أو فى تحقيق أرقام أفضل.

فزيادة سرعة الدوران فى الدورانات الكبرى التى تسبق النهايات الحركية يتولد عنها قوة طاردة مركزية كبيرة فإذا ما أحسن اللاعب استغلالها أمكن تحقيق ارتفاع طيران أعلى مما يحقق بالتالى فرصة أداء مهارات ذات صعوبة أعلى.

كما أن زيادة سرعة اللف حول المحور الطولى فى رمى القرص أو الإطاحة بالمطرقة سوف يؤدى إلى تعرض الأداة إلى قوة طرد مركزى كبيرة من الممكن أن تستغل فى تحقيق أرقام أفضل.

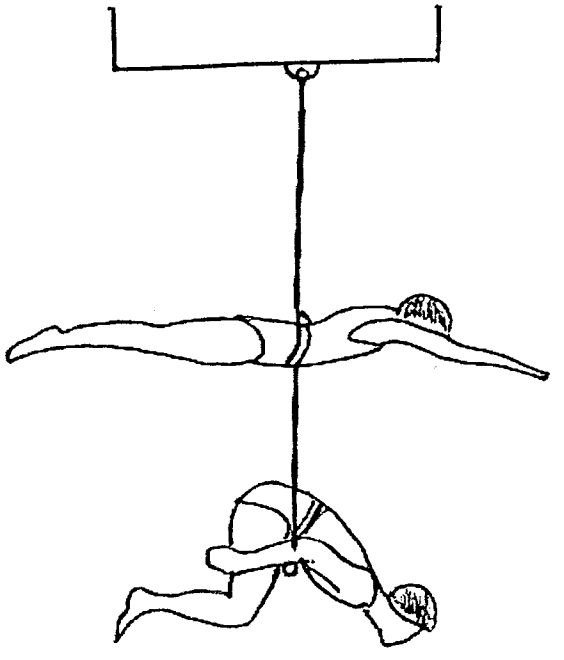
مما سبق يتضح أن القوة الطاردة المركزية هى قوة تتولد مع الدوران بحكم قصور الجسم الذى يدور وأن كل من سرعة الدوران وكتلة الجسم وطول نصف قطر الدوران هى عوامل تؤثر فى مقدار هذه القوة. وأن نجاح أداء العديد من المهارات الرياضية يعتمد بالمقام الأول على حسن استغلال هذه الظاهرة الطبيعية. ويوضح شكل (٨) اتجاهات كل من قوى الطرد والجذب المركزى وكيفية التعامل معها فى الإطاحة بالمطرقة.



القوى الداخلية والقوى الخارجية فى حركة الاجسام :

القوى الداخلية :

عند تعليق أى جسم من نقطة تتطابق مع مركز كتلته أو مركز ثقله فإن أى تغيير فى شكل الجسم لن يؤدى إلى تغيير فى موضع مركز ثقله، فإذا اعتبرنا الجسم فى هذه الحالة نظامًا متكاملاً فإن ذلك يعنى عدم فعالية القوى الداخلية والمتمثلة فى عمل العضلات فى تغيير موضع مركز ثقله كما هو موضح فى شكل (٩).



شكل (٩)
ثبات موضع مركز ثقل الجسم رغم تغيير شكله بفعل عمل العضلات.

وتحدث هذه الظاهرة بشكل واضح فى كافة المهارات الرياضية أو بعض مراحلها التى يتخللها مراحل طيران، فبمجرد انطلاق الجسم فى الهواء يتحدد مسار مركز ثقله دون أى احتمال للتغيير طالما أن الجسم لا يتصل بأى جسم آخر ولا يتأثر بأى قوة خارجية باستثناء الجاذبية الأرضية التى تعمل لأسفل.

فكل ما تحدثه العضلات العاملة خلال مراحل الطيران ما هو إلا تغيير فى الشكل الذى يتخذه الجسم حول مسار مركز ثقله الثابت والمحدد فور بدء الطيران.

القوة الخارجية :

تظهر هذه القوة فى حالة اتصال الجسم بسطح الأرض أو أى جسم آخر، فعن طريق تغيير شكل الجسم بالنسبة لنقطة اتصاله يعنى ذلك أن الجسم قد أثر على نقطة اتصاله بقوة يكون رد فعلها متمثلاً فى حركة مركز ثقل الجسم وبالتالى الجسم ككل. فإذا ما أدى اللاعب الحركة الموضحة فى المثال السابق مع اتصاله بسطح أى جسم آخر فسوف تنتج حركة لمركز ثقله فى اتجاه رد الفعل. أى أنه فى حالة مد الجسم ولكن مع اتصال القدم بسطح خارجى فإن ذلك سوف يؤدى إلى ظهور حركة.

وللقوى الخارجية أشكال متعددة نذكر منها :

★ القوى المقاومة للحركة :

وتعمل هذه القوة فى اتجاه مقاومة حركة الجسم ومن أهم أشكالها ما يحدث فى حركة أحد أجزاء الجسم حيث تتمثل القوى المقاومة للحركة فى هذه الحالة فى كل من:

- الشد العضلى الذى يعمل على مقاومة حركة الجزء بفعل العضلات المضادة.
- مقاومة النسيج الضام المحيط بالفصل المتحرك.
- القوى الناتجة عن اقتراب عظام المفصل المتحرك من بعضها.
- كثافة السائل الموجود بين أنسجة العضلات وكبسولات المفاصل.

وعلى الرغم من أن مثل هذه الأشكال من القوى يطلق عليها قوى معيقة أو مانعة للحركة إلا أنها تمثل أهمية كبيرة فى المحافظة على سلامة المفاصل

المتحركة. لذا فإن العمل المقاوم لحركة المفصل ويعادل فى أهميته لعمل المسئول عن حركته.

★ القوى المحركة :

تعتبر القوى المحركة الأساسية لجسم الإنسان كامنة فى عضلاته الإرادية فإنقباض أى عضلة ينتج عنه حركة فى المفصل الذى تعمل عليه هذه العضلة. وتعتبر الجاذبية الأرضية قوى محركة أساسية للجسم ككل فهى دائمة التأثير فى اتجاه مركز الأرض فهى تعتبر القوة المحركة الأساسية لأى جسم يسقط من ارتفاع كحركات لاعب الغطس والجمباز هذا بالإضافة إلى أن هناك بعض الأجهزة والأدوات الرياضية تكسب الجسم قوى محركة كسلم القفز فى الجمباز والغطس والترامبولين والزانة.

هذا بالإضافة إلى أن جميع الحركات الناتجة عن تأثير المنافس كما هو الحال فى المصارعة تكون تحت تأثير قوى محركة.

كما أن الاحتكاك الذى يحدث بين أسطح الاتصال بالإضافة إلى كونه قوى معيقة فى بعض الحالات، فإنه يعتبر قوى محركة فى العديد من الحالات الأخرى، فبدون حدوث احتكاك بقدر محدد لن يتحقق المشى أو الجرى.

التمثيل البيانى للقوة :

عند تمثيل القوى عن طريق الرسم فإنه يجب مراعاة الخصائص الأربعة السابق الإشارة إليها فى الرسم، كما يجب أن يتم التمثيل بدقة حتى يعبر الرسم عن تفاصيل هذه القوى ويتم التعبير عن القوى بأسهم يمثل طولها المقدار حيث أنه يمكن اعتبار وحدة الطول معبرة عن وحدة القوة بأن يكون كل اسم مساويا لخمسة أو عشرة نيوتن وهكذا.

وكذلك بالنسبة لنقطة التأثير حيث ينطلق السهم من نقطة التأثير ليحدد

اتجاه القوة، أما اتجاه التأثير فهو عبارة عن الخط الواصل بين نقطة التأثير ورأس السهم.

ونحو مزيد من الفهم الدقيق لتفاصيل الأداء الحركى، فعادة ما تستخدم الأوضاع الثابتة التى يمكن أن يمر بها الجسم خلال أى أداء لتحليل القوى المؤثرة والناتجة عن هذه الأوضاع ويسمى هذا النوع من التحليل بالتحليل الاستاتيكى وسوف نتناول نموذجين لهذا التحليل لكى نوضح كيفية عمل التمثيل البيانى للقوى كأحد الأساليب التى تستخدم فى التحليل.

التحليل الاستاتيكى :

تعتبر الأوضاع الاستاتيكية حالة خاصة من حالات تطبيق القانون الأساسى لنيوتن حيث أن عجلة الجسم فى هذه الحالة تكون صفر.

فإذا ما تناولنا جسمًا أو نظامًا فى حالة اتزان فإن مجموع القوى المؤثرة فيه يكون صفرًا أى أن (صفر = ΣF) ومع الأخذ فى الاعتبار بأن القانون الأساسى لنيوتن يرمز له بالمعادلة ($\Sigma F = ma$) حيث (ΣF) هى مقدار التفاعل بين الجسم أو النظام والبيئة المحيطة به وأن (ma) هى المظهر الدال على هذا التفاعل متمثلاً فى كتلة الجسم والعجلة التى يتحرك بها، فإن عدم ظهور قيمة لطرف المعادلة (ma) فى هذه الحالة يعنى تعادل القوى المؤثرة فى الجسم وأن الجسم فى حالة إتزان.

وللقوى أساليب تأثير متباينة تحددها عدة شروط سبق الإشارة إليها ومن هذه الأساليب ما يطلق عليه عزم القوة (Moment) حيث لا تؤثر القوة فى هذه الحالة فى مركز ثقل الجسم أو النظام ولكنها تؤثر فى نقطة تبعد عن هذا المركز مما يؤدى إلى دوران الجسم أو النظام وفى هذه الحالة تتخذ المعادلة الأساسية هذا الشكل (صفر = ΣM_o) حيث (M_o) هى العزم حول نقطة الدوران.

ولدراسة استاتيكية أى جسم أو نظام على مستوى فراغى واحد هناك ثلاثة معادلات أساسية هى :

(١) صفر $\Sigma F_x = 0$ (٢) صفر $\Sigma F_y =$ (٣) صفر $\Sigma M_o =$

ففى المعادلة الأولى والثانية تعنى العلامة (Σ) ، مجموع القوى فى كل من الاتجاهين الأفقى والرأسى، أما المعادلة الثالثة فهى تعنى المجموع الاتجاهى لعزوم القوى حول نقطة والتى من الممكن أن تكون مركز الجاذبية فى حالة دوران الجسم فى الهواء أو أى نقطة يفترض أن يدور حولها الجسم وفقا لطبيعة الاتصال.

ولكى يتم استيعاب كيفية تطبيق قانون نيوتن الأساسى فهناك أربعة نماذج رئيسية للتحليل الاستاتيكى تعتبر حالات ضرورية يجب أن تؤخذ فى الاعتبار عند التحليل وسوف نتناول منها حالتين على سبيل الايضاح.

النموذج الأول : تحديد كل من المقدار والاتجاه لقوة غير معلومة.

يوضح شكل ( ) وجود ثلاثة قوى معلومة المقدار والاتجاه حيث تشير الأسهم المعبرة عن القوى إلى الاتجاه والمقدار.

* نبدأ بعمل مركبتين متعامدتين (y.x) يمثلان مركبات القوة المطلوب تحديد مقدارها واتجاهها. بحيث تعمل هاتين المركبتين على تدوير النظام فى اتجاه عقارب الساعة وبالتالى فإنه يمكن جمع القوى فى كلا الاتجاهين وبافتراض أن الجسم فى حالة اتزان فإن (صفر = ΣF_x) أى أن (صفر=٣-R_x) وبالتالى يكون مقدار (R_x) هو ٣ نيوتن. وبنفس الأسلوب يتم التعامل مع القوى فى الاتجاه الرأسى وحيث أن (صفر = ΣF_y) (فإن صفر= ١٠ - R_y +٥) أى (١٥ نيوتن = R_y).

وتنطلق عملية التحليل باستخدام المعادلات الثلاثة السابق الإشارة إليها مع الأخذ فى الاعتبار بأن لكل معادلة تطبيقاتها الخاصة بها وأن تحديد المعطيات الموجودة فى أى شكل هو الذى يحدد لنا أى من هذه المعادلات يمكن استخدامها.

فإن كان هدف التحليل هو استنتاج قيمة كل من مركبتى محصلة القوى فإن استخدام معادلة العزوم لا يصلح، فليس من المنطقى أن نقوم بجمع عزوم القوى فى هذه الحالة وذلك لأن هذه القوى لا تؤثر بعزوم ولا يوجد مسافات تمثل أذرع عزوم لهذه القوى.

وفى حالة معرفة كل من المركبة الرأسية والمركبة الأفقية للقوة فإنه يمكن استخدام نظرية فيثاغورث لاستنتاج قيمة المحصلة حيث

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

وبالتالى فإن مقدار المحصلة يساوى

$$\text{١٥,٣ نيوتن} = \sqrt{(٣)^٢ + (١٥)^٢}$$

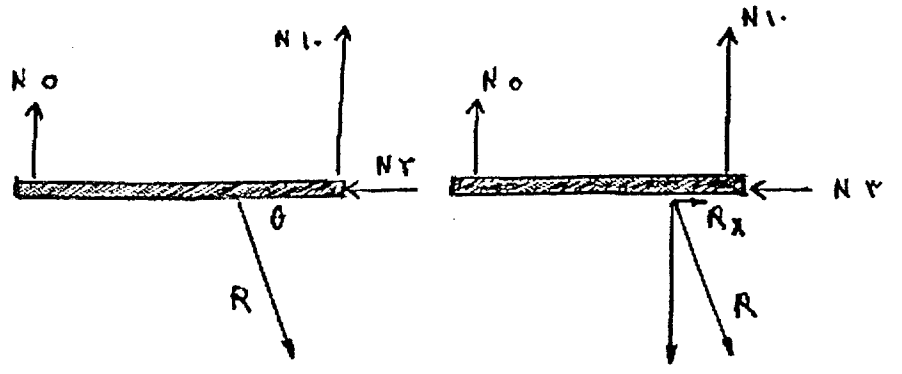
وفى هذه الحالة نجد أن تحديد المقدار أصبح ممكنا ولكن هذه الاجراءات لا تساعد فى تحديد الاتجاه ولكن عملية تحديد الاتجاه يمكن أن تتم فى ضوء الاستعانة بإحدى الطرق الخاصة بذلك فيمكن تحديد زاوية المحصلة بالنسبة للمستوى الأفقى أو الرأسى عن طريق

$\text{Cos}\,\theta = \frac{R_x}{R}$ وهى المركبة الأفقية

$\text{Sin}\,\theta = \frac{R_y}{R}$ وهى المركبة الرأسية

فبما أن $\text{Cos}\,\theta\ \frac{R_x}{R}$ فإن الزاوية θ تساوى $\text{Cos}^{-1}\frac{R_x}{R} = \text{Cos}^{-1}\ \frac{٣}{١٥}$

فتكون قيمة الزاوية ٧٨,٥ درجة أى ١,٣٧ زاوية نصف قطرية.



شكل ( ) توزيع القوى المؤثرة فى الجسم وحساب المحصلة

النموذج الثانى :

يوضح شكل ( ) مثالاً آخر من الأمثلة التى يمكن أن يستخدم فيها مدخل (القوة والكتلة والعجلة) فى التحليل الاستاتيكى فى تمرين مد الركبة لرفع ثقل.

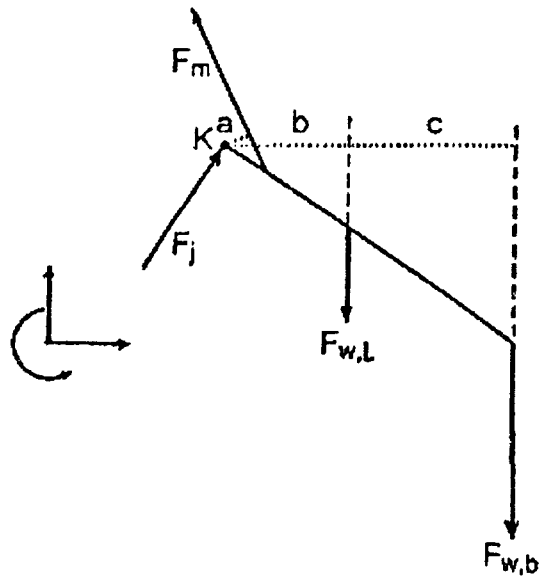
فالهدف فى هذا المثال هو تحديد مقدار واتجاه العزم العضلى حول مفصل الركبة (k) لقوة عضلية مقدارها (F_m).

حيث يتضح من الشكل أن هناك ثلاثة قوى تؤثر بعزوم أذرعها هى:

(متر ٠,٣٢٠ = c ، ٠,١١٠ = b ، ٠,١٢٤ = a).

وأن رد فعل المفصل (F_j) ووزن الرجل ($F_{w.l}$ =٤٠,٦ N) ووزن الثقل الموضوع على القدم ($F_{w.b}$ = ٨٠ N).

وبافتراض أن اللاعب مطالب برفع الثقل وتثبيته عند زاوية ركبة مقدارها (٥, زاوية نصف قطرية) تحت المستوى الأفقى فما هو مقدار العزم العضلى المحصل المطلوب لأداء هذه المهمة.



شكل ( ) الرسم التخطيطى للرجل أثناء عمل تمرين مد الركبة

١ ـ يتم إعادة بناء الرسم التخطيطى (Free body diagram) بناءً على المعطيات.

٢ ـ ثم يتم بعد ذلك اختيار المعادلة المناسبة من المعادلات الثلاثة السابق الإشارة إليها وتحديد مقادير القوى وأذرع عزمها.

وبما أن الهدف من التحليل هو حساب محصلة العزم العضلى حول مفصل الركبة (K) فإنه يمكن اهمال قيم رد فعل المفصل (F_j) وبالتالى فإن القوى التى تعمل بعزم حول هذا المفصل هى (F_m, $F_{w.L}$, $F_{w.b}$) وذلك فى حالة استخدام معادلة العزوم وهذا يعنى أن :

$$F_{m.a} - F_{wl} \cdot b - F_{wb} \cdot C = \text{صفر}$$

وبالتعويض فى المعادلة فسوف نجد أن

$$F_{m.a} = (٤٠,٦ \times .١١) + (٨٠ + .٣٢)$$

$$= ٤,٦٣ + ٢٥,٢٧$$

$$F_{m.a} = ٢٩,٩ \text{ نيوتن متر}$$

وبما أن المطلوب هو تحقيق الاتزان فى الوضع السابق الإشارة إليه فإن مقدار العزم الذى تحدثه القوة العضلية F_m لتحقيق هذا التوازن هو ٢٩,٩ نيوتن متر.

التحليل الديناميكى :

عندما يقع الجسم تحت تأثير قوى غير متوازنة فإن هذه القوى سوف تكسب الجسم عجلة وبالتالى فإن تحليل حركة هذا الجسم تعرف بالتحليل الديناميكى.

وتستخدم نفس المعادلات الثلاثة السابق ذكرها فى التحليل الاستاتيكى عند الشروع فى إجراء التحليل الديناميكى باستثناء أن الجانب الأيمن من المعادلة لا يساوى صفرًا، حيث يمثل هذا الجانب ناتج ما يحدث من كمية حركة وعلى ذلك فإن المكونات المقياسية وكذلك المكونات الدورانية تكتب على النحو التالى:

(١) $(\Sigma F_x = ma_x$ صفر) (٢) $(\Sigma F_y = may)$ (٣) $\Sigma M_o = I_o\alpha + mad$

حيث $(F_x \, ، \, F_y)$ هى مقادير القوى فى الاتجاهين الأفقى والرأسى ، (m) هى الكتلة، (a) هى العجلة، هذا بالنسبة للحركة الانتقالية، أما بالنسبة للحركة الدورانية (المعادلة ٣) فيكون (I_o) هى عزم القصور الذاتى للجسم حول محور دوران(O) ، (a) هى المسافة العمودية بين المحور وأى محور موازى له ، (M_o) هى مقدار العزم حول المحور (O)،(α) هى العجلة الدورانية أو الزاوية.

وبالتالى فإن العجلة $a = \sqrt{(a_x)^2 + (a_y)^2}$

ومجموع القوى على المستوى الفراغى المعين

$$\Sigma F = \sqrt{(\Sigma F_x)^2 + (\Sigma F_y)^2}$$

وكما هو الحال فى المعالجة الاستاتيكية فإن هذه المعادلات تفسر الحركة الخطية فى الاتجاهين (y.x) والحركة الدورانية فى اتجاه واحد.

ومن المعادلة (١)، (٢) نجد أن علامة المجموع (Σ) للقوى واتجاه (x، y) تعادل الكتلة مضروبة فى العجلة (a) التى يتحرك بها كل جزء من أجزاء الجسم فى كلا الاتجاهين.

أما المعادلة (٣) فهى تفسر أن مجموع العزوم حول النقطة (o) هى عبارة عن مكونين رئيسيين، الأول يرتبط بكينماتيكا الدوران والتى يفسرها عزم القصور الذاتى (I_o) والعجلة الزاوية حول محور الدوران (α) ، والثانى يرتبط بكنياتيكا الحركة الخطية التى تتضمن كل من كتلة الجسم (m) وعجلته الخطية (a) لمركز ثقل الجسم والمسافة العمودية بين محور مركز ثقل الجسم ومحور الدوران (d) وبالتالى فإن قيمة (mad) مساوية للصفر لأن الحركة دورانية ويمكن اختصار المعادلة إلى ($\Sigma M^{\circ} = I^{\circ} \alpha$)

وإذا كان الجسم أو النظام عبارة عن وصلة واحدة، كما هو الحال عند دوران أى جزء من أجزاء الجسم حول محور ثابت، فإن التأثير الدورانى للقوى، يمكن حسابه عن طريق المعادلات التالية :

$$\Sigma F_n = mr\omega^2 \quad (١) \qquad \Sigma F_t = mr\alpha \quad (٢) \qquad \Sigma M_o = I_o \alpha \quad (٣)$$

حيث ($mr\omega^2$) ترتبط بقوى الجذب المركزى، ($mr، \alpha$) ترتبط بالقوى الطاردة المركزية.

وقد سبق وعرفنا الخاصية القصورية بأنها مقدار المقاومة التى يبذلها الجسم لمنع التغير فى سرعته الخطية، وبنفس الأسلوب فإن عزم القصور الذاتى هو القيمة المعبرة عن مقاومة الجسم للحركة الدورانية وهى مقياس لتوزيع الكتلة أو الكتل بالنسبة للمحور المراد إحداث الدوران حوله. ووحدات قياس عزم

القصور الذاتى هى (كيلو جرام. متر٢) ($Kg.m^2$) وبناءً على ذلك فهل من الممكن معرفة كيفية حساب عزم القصور الذاتى من وحداته؟

كلما زادت المسافات بين الكتلة أو كتل الأجزاء كلما زاد مقدار عزم القصور الذاتى، وبالتالى فإن عزم القصور الذاتى لأى جسم لا يعتبر قيمة ثابتة ولكنه كمركز الثقل يتغير بتغير موضع الكتلة أو الكتل المكونة للجسم فعلى سبيل المثال، تختلف قيم عزم القصور الذاتى للجسم أثناء الدوران فى الهواء بين الوضع المتكور والمنحنى والمستقيم كما هو موضح فى جدول ( ).

جدول ( )

قيم عزم القصور الذاتى فى أوضاع مختلفة حول المحاور الثلاثة

الوضع	المحور العرضى	المحور السهمى	المحور الرأسى
المستقيم	١٢,٥٥	١٥,٠٩	٣,٨٣
المنحنى المفتوح	٨,٣٨	٨,٩٨	٤,٧٩
المنحنى المغلق	٨,٠٥	٦,٦٠	٣,٥٨
التكور	٤,٠٤	٤,٤٢	٥,٩٤

ويمكن حساب عزم القصور الذاتى لأى جسم حول محاور دوران أخرى، أى أنه يمكن القول أن لكل كتلة عزم قصور ذاتى حول محاور الدوران الثلاثة وهذه القيم مختلفة باختلاف المحور.

ونظراً إلى أن الجانب الأيمن من المعادلات فى التحليل الديناميكى لا يساوى صفراً فإنه يمكن استخدام ما يسمى بالرسم التخطيطى للجسم المتحرك Mass Accleration Diagram. على غرار الرسم التخطيطى للجسم الثابت (Free body diagram.) فى التحليل الاستاتيكى.

ويعتبر الفرق الوحيد بين التحليل الديناميكى (MAD) والتحليل الاستاتيكى (FBD) هو احتواء التحليل الديناميكى على قيم عزم القصور الذاتى والعجلة الزاوية كمتغيرات دورانية تعبر عن مقدار الحركة.