

المحاضرة السابعة

مركز الثقل

centre de gravite

مفهوم مركز الثقل:

مركز الثقل هو النقطة التي تقع عندها كتلة جسم ما في موضع معين بغرض فهم حركة هذا الكائن، فمركز ثقل جسم كروي منتظم هو النقطة التي يقع فيها مركز هذا الجسم، كما أن مركز ثقل قضيب منتظم ذي مقطع عرضي دائري هو النقطة التي تقع في مركز الجزء المقطعي العرضي من القضيب الذي يقع في منتصف القضيب طولياً. وفي بعض الأجسام ذات الشكل غير المنتظم، قد يقع مركز الثقل خارج الجسم.

ولقد ظهر مفهوم مركز الثقل للمرة الأولى في أعمال أرخميدس.

و وفقاً له: "فإن مركز الثقل للجسم هو نقطة خاصة في داخله، بحيث أن الجسم إذا وضع (علق) في هذه النقطة، فإنه يبقى في حالة السكون ويحافظ على وضعه الأصلي، وذلك لأن جميع المستويات التي تمر بهذه النقطة تقسم الجسم إلى أجزاء تتوازن فيما بينها".

❖ الأجسام الساقطة تنجذب نحو مركز الأرض.

❖ اختلاف قوة الجذب يرجع إلى المسافة بين الجسم الساقط وهذا المركز.

❖ كلما كانت مسافة سقوط الجسم أطول، كانت سرعة سقوطه أعلى، ومن ثم كانت قوة ارتطامه أشد.

❖ وهو * مفهوم كمية الحركة التي تتناسب مع سرعة الجسم ومع كتلته*

تعريف مركز الثقل:

يعرف مركز الثقل أو مركز الثقالة لجسم ما على أنه نقطة في هذا الجسم الذي يكون العزم مساوياً للصفر بالنسبة لها إذا وضعنا هذا الجسم في حقل قوى متوازي (مثل حقل الجاذبية في الغرفة). ويسمى في الرياضيات بالمرجح: **مركز ثقل الجسم** هو النقطة التي يتوزع حولها ثقل هذا الجسم بالتساوي، بحيث إذا علق منها أو ارتكز عليها يحافظ على توازنه.

- مركز ثقل الجسم هو النقطة التي تكون عندها محصلة كل القوى والعزوم المؤثرة على الجسم تساوي الصفر، وهي اتزان الجسم، ويعتبر مركز الثقل أحد أهم المفاهيم الميكانيكية التي تلعب دوراً أساسياً عند حمل الأثقال برافعة أو إلقاء ثقل بمظلة من طائرة.

- مركز ثقل الجسم هو تلك النقطة الثابتة التي يمر بها خط عمل محصلة قوى الجاذبية الأرضية لهذا الجسم عند أي وضع له في الفراغ

- مركز الثقل هو النقطة التي يتوازن عندها الجسم بالنسبة للمحاور الثلاثة.

طرق حساب مركز الثقل

تعرف مركز الثقل \vec{r}_s بأنه المتوسط الحسابي للمواقع المتجهة \vec{r} لجميع الكتل الجزئية للجسم dm :

$$\vec{r}_s = \frac{\int \vec{r} dm}{\int dm} = \frac{\int \vec{r} \rho(\vec{r}) dV}{\int \rho(\vec{r}) dV}$$

حيث

$\rho(\vec{r})$ الكثافة عند الموقع \vec{r}
 dV وحدة أو عنصر الحجم.

وتكون الكتلة الكلية للجسم في المقام من المعادلات.

وفي حالة جسم منتظم الكثافة يمكن اعتبار الكثافة ρ فينطبق مركز الثقل على مركز الثقل الهندسي. وفي كثير من الأحوال يمكن تسهيل الحساب باعتبار أن مركز الجسم الهندسي يقع دائما على **محور التناظر** للجسم. ويكون على سبيل المثال مركز الثقل للكرة في مركز الكرة الهندسي.

وفي حالة الأجسام المنفردة يمكن إجراء التكامل والحصول على الحجم الكلي عن طريق جمع المواقع المتجهة \vec{r}_i لجميع الكتل الجزئية للجسم m_i ،

فنحصل على:

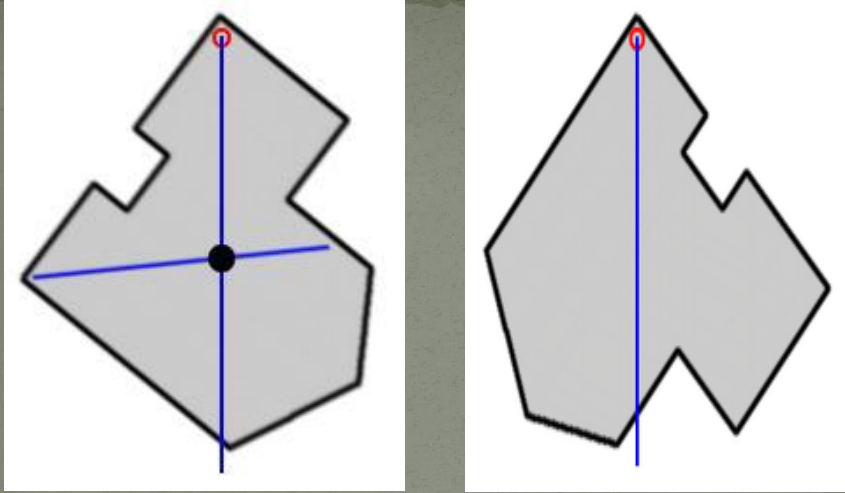
$$\vec{r}_s = \frac{1}{M} \sum_i \vec{r}_i \cdot m_i$$

حيث :

$$M \text{ مجموع الكتل الجزئية } m_i \text{ للجسم:}$$

$$M = \sum_i m_i$$

وقد يكون مركز الثقل خارج الجسم متلما في حالة الحلقة أو الإطار. فيكون مركز الحلقة أو الإطار في المركز الهندسي.



طريقة تعيين مركز الثقل والذي يقع رأسياً تحت نقطة التعليق.

تحديد مركز ثقل الجسم

إن فهمنا أسس عمل العتلات بالشكل الصحيح سيمكننا في فهم الكثير لمعرفة مركز ثقل الجسم المتحرك ويتكون وزن الجسم من قوة سحب الجاذبية الأرضية لذلك الجسم ، حيث ان الجاذبية الأرضية تسحب كل أجزاء الجسم نحوها و يمكن تعيين (م . ث . ج) للأجسام الأخرى بتعليق الجسم في الهواء بأكثر من نقطة لعدة مرات والتقاء الخطوط و الامتدادات بنقطة وسطية و التي هي مركز ثقل الجسم.

و كما أشرنا سابقا فهناك ثلاث محاور
أساسية للجسم:

(العمودي، والأفقي، الجانبي)، والتي تتقاطع
عندها نقطة مركز ثقل الجسم وهي نفس
النقطة التي تتقاطع بها المستويات التشريحية
الثلاثة للجسم (الأمامي والجانبي والأفقي).

ومن أسهل الطرق المستخدمة في هذا الجانب
وحسب نظرية الروافع، يمكن استخدام ميزان
و لوح خشبي له طول معلوم وليكن
(200 سم) حيث يستلقي الشخص على
اللوح ويحدد (م. ث. ج) في المستوى الأفقي
عن طريق النقطة التي يتوازن على جهتيها الجسم
و التي تمثل النقطة التي لو علق الجسم منها يكون
متزن.

مركز ثقل الأجسام :

تختلف الأجسام عن بعضها البعض،
سواء من ناحية الشكل أو من ناحية
التجانس والانتظام، وبالتالي فان تحديد
مركز ثقل جسم ما يتعلق بهذا
الاختلاف .

مركز ثقل الأجسام المنتظمة :

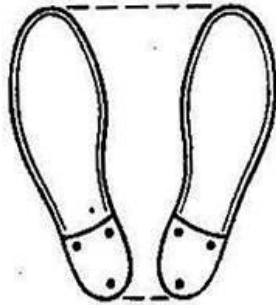
الأجسام المنتظمة والمتجانسة هي تلك الأجسام المسطحة
المعروفة الشكل الهندسي، كالمربعات و المستطيلات و
المثلثات و الدوائر ... وتعتبر هذه الأجسام سهلة من
حيث تحديد مركز ثقلها، فهو غالبا ما يقع في تقاطع محاورها
. فمركز ثقل جسم كروي منتظم هو النقطة التي يقع فيها
مركز هذا الجسم، كما أن مركز ثقل قضيب منتظم -
اسطوانة - هو النقطة التي تقع في مركز الجزء المقطعي
العرضي من القضيب الذي يقع في منتصف القضيب طوليا

– أما إذا كان الجسم غير منتظم الشكل الهندسي وذو بعدين فقط، فإن تحديد مركز ثقله يكون بتعليقه من أي نقطة منه، ثم رسم محور عمودي إلى الأرض عندما يثبت الجسم، ثم تعليقه مرة ثانية ورسم محور عمودي على الأرض ونقطة تلاقي المحورين أو تقاطعهما تكون هي مركز ثقله

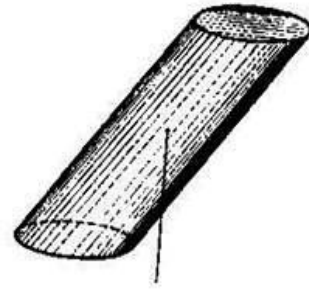
مركز ثقل الأجسام غير المنتظمة :

نقصد بالأجسام غير المنتظمة، هي الأجسام التي لا تتوزع فيها كتلة الجسم بالتساوي على جميع نقاط الجسم، ومن الأجسام غير المنتظمة جسم الإنسان . وقد لاقى تحديد مركز ثقل جسم الإنسان اهتمام العديد من العلماء في مختلف المجالات، كعلماء التشريح علماء علم الحركة وعلماء الفضاء وأخصائي العلاج الطبيعي . و تتضح أهمية تحديد مركز الثقل في معرفة حالة اتزان الجسم في أي لحظة من اللحظات، وتحت أي وضعية.

وفي المجال الرياضي، يعتبر مركز ثقل الجسم من الأمور الهامة والنقاط الحساسة التي يجب التركيز عليها من طرف المدربين و مدرسي الحركات الرياضية، لما تلعبه من دور في توازن جسم الرياضي وبالتالي في الأداء بصفة عامة.



شكل ١٦ : عندما يكون الشخص واقفا ، فإن الخط العمودي النازل من مركز ثقله ، يمر ضمن المساحة المحاطة بالحافات الخارجية لتقديمه .



شكل ١٤ : ان هذه الاسطوانة يجب ان تنقلب على الارض ، لان الخط العمودي النازل من مركز ثقلها ، لا يمر بقاعدتها .

موضع مركز الثقل خلال الوقوف العادي للفرد، وكذا للأسطوانة.

ولتعيين مركز ثقل الجسم الغير منتظم عمليا نقوم بتعليق الجسم تعليقاََ حراً من عدة نقاط باستخدام خيط يتدلى من أسفله ثقل، وفي كل مرة نرسم الخط الرأسي المار بنقطة التعليق. و تكون نقطة تلاقي هذه الخطوط هي مركز ثقل الجسم ، و لا يشترط أن يقع مركز ثقل الجسم داخل مادة الجسم بالضرورة، فقد يقع عند نقطة خارجة عنها، فمركز ثقل حلقة معدنية يقع عند مركزها حيث لا يوجد شيء من مادة الحلقة، وكذلك علبة فارغة أو كوب فارغ.

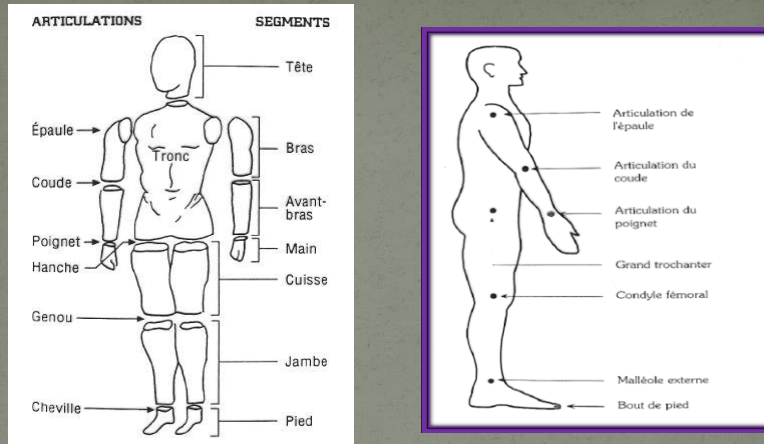
تحديد مركز ثقل جسم الإنسان

اهتمت العديد من الدراسات العلمية في طرق إيجاد وتحليل مركز ثقل جسم الإنسان، ومن بين هذه الدراسات : دراسة " براون فيشر " حيث حدد مركز ثقل الجسم بـ 55...% من طول الشخص مقاسا من أسفل القدم، مع اختلاف هذه النسبة بين الرجال و النساء , حيث أن ارتفاع مركز ثقل الجسم عند الرجال أعلى منه عند النساء.

كما أشار " " chrowski إلى أن متوسط ارتفاع مركز الثقل عند الرجال بلغ 1.65% ، بينما بلغ 5.5% . المتوسط عند النساء. أما العالم " بالمر " و الذي أجرى تجاربه على عينة تكونت من 91 ذكور و 71 إناث ولمدة طويلة استمرت حتى بلوغهم العشرين سنة ، فوجد بشكل عام إن ارتفاع مركز الثقل للجسم بصرف النظر عن العمر و الجنس يساوي 6.5 - 7 سم من الطول + مقاسا من أسفل القدم.

وما يجب التأكيد عليه هنا ، أنه في مجال التربية البدنية والرياضية وخاصة ميدان التحليل الحركي يتفق معظم الباحثين على استخدام نموذج موحد لتحديد مركز الثقل خلال تحليلنا للحركات الرياضية، حتى يسهل علينا دراسة وتحليل مختلف الأوضاع التغيرات المصاحبة لها خلال ذلك والذي يتمثل في نموذج Winter، والذي يركز على نتائج العديد من الأبحاث والتي وضعت على شكل نسب ومعدلات لمختلف أعضاء الجسم والتي تمكننا من حساب وتحديد مختلف القياسات اللازمة لحساب وتحديد مركز الثقل.

Le modèle de Winter



نموذج " Winter " أهم النقط التشريحية والمقاييس الجسمية المعتمدة في حساب و تحديد موضع مركز الثقل.

Membre	Segment	Masse seg./ masse corp.	Distance du CM/longueur du segment	
			Proximale	Distale
Main	Poignet/2 ^e articulation du majeur	0,006	0,506	0,494
Avant-bras	Coude/poignet	0,016	0,430	0,570
Bras	Épaule/coude	0,028	0,436	0,564
Membre supérieur	Épaule/poignet	0,050	0,530	0,470
Pied	Malléole lat./MTP II	0,0145	0,500	0,500
Jambe	Genou/malléole méd.	0,0465	0,433	0,567
Cuisse	Hanche/genou	0,100	0,433	0,567
Membre inférieur	Hanche/malléole méd.	0,161	0,447	0,553

طريقة حساب كتلة ووضعية مركز الثقل أطراف الجسم

علاقة الاتزان بمركز الثقل :

الاتزان هي الدائرة التي يقف عليها جسم ما، فجسم الإنسان الواقف على قدميه قاعدة اتزانه هي الدائرة التي تحيط بالقدمين وتلامسهما، وكذا الحال بالنسبة للأجسام الأخرى كالبنائيات والأبراج الشاهقة، فقاعدة اتزانها هي الدائرة التي تركز عليها .

وكلما كان مركز ثقل هذه الأجسام داخل هذه الدائرة فإنها تحافظ على اتزانها أما إذا انحرف مركز الثقل أو خرج عن هذه الدائرة فإنها تفقد توازنها أو تسقط إلى الأرض .

النقطة التي تقع عندها كتلة جسم ما في موضع معين بغرض فهم حركة هذا الكائن، فمركز ثقل جسم كروي منتظم هو النقطة التي يقع فيها مركز هذا الجسم.

• كما أن مركز ثقل قضيب منتظم ذي مقطع عرضي دائري هو النقطة التي تقع في مركز الجزء المقطعي العرضي من القضيب الذي يقع في منتصف القضيب طوليا. وفي بعض الأجسام ذات الشكل غير المنتظم، قد يقع مركز الثقل خارج الجسم.

– كلما زادت قاعدة الاتزان زادت حالة الثبات.

– كلما انخفض مركز الثقل زاد الاتزان.

– طالما وقع مسقط مركز ثقل الجسم في قاعدة الارتكاز زاد الاتزان.

– كلما زادت كتلة الجسم زاد الاتزان.

– كلما كان الاحتكاك بين السطحين قوي زاد الاتزان.

– التركيز البصري يساعد في الاتزان.

– العامل النفسي يؤثر على حالة الاتزان.

الاتزان: الاتزان يعني ان محصلة القوى المؤثرة على الجسم تساوي صفراً، وهذا يعني ان الجسم يكون ساكناً عندما تكون محصلة القوى التي تؤثر عليه تساوي صفراً، كما يحدث عند لاعبي الجمباز عند أداء بعض حالات الاتزان الثابت . فضلا عن ذلك فان مفهوم الاتزان للأجسام لا يقتصر أثناء السكون فقط بل قد يكون الجسم في حالة حركة متزنة حيث ان المقصود ان تكون الحركة بسرعة انتقالية مستقيمة أو زاوية ثابتة، وهذا يمكن حدوثه عندما يكون مجموع القوى المؤثرة فيه ليتحرك حركة انتقالية وكذلك عزم القوى التي تؤثر فيه ليتحرك حركة زاوية تساوي صفراً، فالاتزان هنا يكون اتزاناً متحركاً .

ان تأثير قوة الجاذبية في حالة الاتزان للاعب تختلف من شخص إلى آخر وفقاً لطبيعة الحركة التي تؤديها , فالوقوف بشكل اعتيادي يعطي الشخص مقاومة اكبر للقوة الخارجية قياساً بالمتزحلق على الجليد الذي يفقد اتزانه وبالتالي سقوطه على الأرض , لذا فإن هناك علاقة بين الاتزان ودرجة المقومة عند تأثير قوة خارجية والتي يطلق عليها بدرجة الثبات.

الاتزان الثابت

يعرفه NELSWON ET JHONSON بكونه القدرة البدنية التي تمكن الفرد من الاحتفاظ بوضع ساكن أي عندما يكون مركز ثقل الجسم نقطة الاستناد يتحرك الجسم باتجاه تأثير القوة , ولكن الجسم لا يلبث ان يعود إلى وضعه الأصلي فلاعب العقلة عندما يكون مركز ثقله أسفل العقلة وعند التأثير عليه بقوة سواء داخلية أو خارجية بأي اتجاه فلا يلبث ان يعود إلى وضعه بعد استنفاد القوة المحركة له مثل الحركة البندولية على العقلة.

الاتزان المتعادل:

يحدث التوازن المتعادل عندما يمر محور الدوران بمركز ثقل الجسم فعند دوران الجسم على أي زاوية لا تتغير حالة اتزانه ويتسم وضع التوازن المتعادل بأن مركز الثقل يبقى في جميع أعضاء الجسم على ارتفاع ثابت من قاعدة الارتكاز ولا يوجد هذا النوع من التوازن عند الإنسان لأن مركز الثقل عند الإنسان متحرك وغير ثابت .

الاتزان الغير ثابت :

يحدث التوازن الغير مستقر أو الغير ثابت عندما يمر محور الدوران عمودياً تحت مركز ثقل الجسم، وهي الحالة التي يكون فيها مركز ثقل الجسم فوق حافة قاعدة الارتكاز ويتطلب احتفاظ الجسم باتزانه في هذا الوضع درجة عالية من العمل العضلي ، ومن الأمثلة على ذلك الوقوف على اليدين فوق جهاز المتوازي أي ان القوى الخارجية تستطيع تغيير حالة الجسم ليستمر بعدها في حركته وتغير حال اتزانه الأصلي أي ان القوى المؤثرة تأتي نتيجة لوزن الجسم المؤثر فيه (فعل الجاذبية الأرضية) ورد فعل السطح الذي يستند عليه اللاعب وللاعب القلة أثناء دورانه يصل إلى اعلى قيمته فيكون مركز ثقله فوق نقطة العقلة (الاستناد) فيكون قلقاً وتؤثر فيه القوى فيتغير وضعه وبالتالي يسقط مركز الثقل أسفل العقلة وفي لعبة المصارعة إخراج مركز ثقل المصارع الآخر ليجعله قلقاً ويرفعه عن الأرض بسحي رجلي خصمه باليدين ويدفعه بقوة باستخدام الكتف بالاتجاه المعاكس.

التوازن:

لقد تناول العديد من العلماء تعريف التوازن فقد عرفوه بأنه القدرة على الاحتفاظ بثبات الجسم عند أداء أوضاع كما ان وضع الوقوف على قدم واحدة مثلاً أو عند أداء حركات ، كما في حركة المشي على عارضة مرتفعة مناطق التوازن في الجسم ، إلا أن معظم المصادر في هذا الجانب تتفق على عدة مناطق وأعضاء في الجسم يتوقف عليها مسؤولية الاحتفاظ بتوازن الفرد والتي تتمثل فيما يلي :

– **القدمان** : تمثل قاعدة اتزان الجسم وان أي إصابات بها يضعف من توازن الفرد .

– **حاسة النظر** : أثبتت البحوث انه من السهل ان يحتفظ الفرد إذا سلط نظره على أشياء ثابتة أكثر من تسليطها على أشياء متحركة.

– النهايات العصبية والحاسة والأوتار الموجودة في نهاية العضلات.

– الأذن الداخلية: وتتركب الأذن الداخلية من (القوقعة – الدهليز – القنوات النصف هلالية).

Bierhate Carle ويقول

تقع حاسة التوازن في القنوات الشبه دائرية للأذن الداخلية وتنبه هذه الأعضاء الحسية بواسطة حركة الرأس كما أنها ضرورية في توازن الجسم في جميع حركاته

و ساعد الإمام بالعوامل الميكانيكية والعلاقات التي تربطها في دراسة التوازن وخاصة في الأداءات التي يدخل فيها الاحتفاظ بالتوازن كشروط أساسية لنجاحها وهذه العوامل هي :

– وزن الجسم وكتلته

– ارتفاع مركز ثقل الجسم

– نصف قطر قصور دوران الجسم حول النقطة أو المحور الذي سوف يدور حوله أو يسقط

– المسافة الأفقية لخط الثقل بالنسبة للمحور الذي يدور حوله الجسم (مساحة قاعدة الارتكاز)

– قوى الاحتكاك

– الدفع الزاوي الذي يعمل على إخلال الاتزان الدوراني.

– كمية الحركة الزاوية للجسم ككل ولأجزائه.

الثبات:

ان ثبات أي جسم هو مقدار قصوره الذاتي إزاء القوة الخارجية المؤثرة فالجسم المتزن يسقط نتيجة تأثير قوة مقدارها (50) نيوتن مثلا هو اقل ثباتا من الجسم الذي لا تمكن تلك القوة من التغلب على قصوره الذاتي لتوضيح العلاقة بشكل أدق بين ائزان ودرجة ثباته.



مركز ثقل العداء خلال لحظة الانطلاق في مسابقة السرعة