علم البيوميكانيك

هو العلم الذي يهتم بدراسة حركة الكائنات الحية تحت تأثير قوى داخلية وخارجية، داخلية مثل الانقباض العضلي وخارجية مثل قوة الجاذبية، الاحتكاك مقاومة الموائع.

كما ان كلمة البيو ميكانيك تتركب من قسمين هما البيو وتمثل علم الحياة biologie، وعلم الميكانيك mécanique.

لذا فعلم البيوميكانيك يهدف الى دراسة القوى الميكانيكية الاساسية في حركة الجسم البشري من خلال تطبيق المبادىء البيولوجية والميكانيكية من خلال تطبيق القوانين الميكانيكية على الجهاز الحركي للانسان ودراسة العلاقة المتبادلة بين القوى الداخلية والخارجية المؤثرة على جسم الانسان وتوافق تاثيرها وعملها اثناء الاداء.

التطور التاريخي لعلم الحركة

مرحلة قبل التاريخ:

ارسطو(384-322ق م): درس الروافع وتأثيرها على حركة الجسم.

ارشيمدس (287-212ق م): درس حركة الانسان في الوسط المائع.

العصور الوسطى:(تطور علم التشريح)

كلوديوس جلان: اكتشف السيالة العصبية.

بعد العصور الوسطى:(تطور علم التشريح ومحاولة تطبيق قوانين الميكانيك)

بورلي: الف اول كتاب خاص بعلم الحركة سنة 1679 بعنوان الحركة عند الحيوان.

القرن 19م: ظهور الثورة الصناعية

الالماني ويبر 1839م: قام بدراسة تحليلية لحركة الانسان.

الفرنسيين ديميني وماري: قام بدراسة تقنية المشي السريع بالتحليل الفوتوغرافي.

القرن 20م:

بداية الاربعينيات الى غاية الستينات: ظهور المدرسة الامريكية حيث تم ربط مفهوم الحركة بالاسس والقوانين والنظريات الميكانيكية والوضيفية مهملين الى حد كبير مدى ارتباطه بالعلوم التربوية والاجتماعية.

بداية الستينات: ظهور المدرسة الالمانية

اهتمت بعلاقة مفهوم الحركة بالجوانب التربوية، الثقافية والتربوية.

اهمية دراسة الحركة في عملية التعليم والتدريب

تعتبر عملية التدريب من العمليات التي تتطلب معرفة جيدة وفهم كبير بما يدور حول المتعلم من عوامل مؤثرة بطريقة مباشرة او غير مباشرة مثل المواضيع التي تخص

* عملية التعلم والأداء الحركي مثل دور ألانتباه والإدراك والذاكرة ...باعتبارها عوامل نفسية اجتماعية.
* دور القدرات الحركية والاستعداد البدني باعتبارها عوامل فسيولوجية.
* دور الانماط الجسمية، الاجهزة والوسائل، كذلك الظروف الخارجية (القوى الخارجية)باعتبارها عوامل وظيفية وميكانيكية.

اساسيات تطبيق القوانين الميكانيكية في التدريب الرياضي

ان فلسفة استخدام القوانين الميكانيكية في طرق التدريب الرياضي يتطلب معرفة مايلي:

1- المعلومات الاساسية التي تدخل في بناء معظم القوانين الميكانيكية المستخدمة في المهارة الرياضية، وهو ما يقودنا الى معرفة كل من (الزمن، المسافة، الكتلة) والتي من خلالها تتوفر لدينا معلومات عن تفاصيل التمرين المستخدم. مثل تطوير السرعة، او التدريبات التي تطور التسارع وعلاقتها بتطوير القوة، والمجاميع العضلية المسؤولة عن هذا التطور بهدف وضع المعايير التي تحكم هذا التطور.

2- تحديد المكونات البدنية للاداء، ومعالجة نوع المسار المتبع وعلاقته بالقوانين التي تتوافق وطبيع الحركة.

3- معرفة الاسس الحركية للاداء الرياضي والتي تعتبر القاعدة الاساسية التي يبنى عليها اي برنامج تدريبي اي المبادىء العامة التي تحكم الاداء حركياً و ويضفيا وان الالتزام بهذه المبادىء هو احد شروط نجاح البرنامج التدريبي.

مثالاً:

عند دراسة الارقام العالمية لسباق السرعة 100 متر نلاحظ ان هذا الرقم يتاثر بكل من معدل السرعة ومكونات خطوة العداء التي ترتبط بالعديد من المميزات البدنية

* معدل السرعة بالنسبة للعداء هو قدرته على اداء حركات متكررة متتالية من نوع واحد في اقل زمن ممكن.

معدل السرعة = طول الخطوة x ترددها (d x n).

* زمن الخطوة له علاقة بزمن دفع القوة impulsion (القوة x السرعة) = (f x t)، كما له علاقة بكمية الحركة =(mv).
* عدد الخطوات التي يقطعها العداء في زمن محدد يتحدد بمعرفة الزمن المستغرق في الخطوة الواحدة، فاذا كان الزمن كبير نجد عدد الخطوات قليل والعكس صحيح.ووفقا لمعادلة سرعة التردد والزمن المستغرق لاداء الخطوة يتحدد زمن الارتكاز وزمن الطيران.
* يبذل العداء حوالي 67% من زمن الخطوة في ملامسة الارض اثناء الخطوات الاولى من بداية السباق ويتناقص هذا الرقم الى حوالي 40% او اقل عند بلوغ السرعة القصوى.

التحليل الحركي في المجال الرياضي

تعتمد على نوعين من الدراسات الاولى حركية (وصفية) (spatio-temporel) بمعني cinématique اما الدراسة الثانية تحريكية (cinétique) او ديناميكية بمعنى اخذ القوة بعين الاعتبار أي (cinématique + force).

التحليل الشعاعي

ان اغلبية المفاهيم البيوميكانيكية الخاصة بالحركة تميزها مقادير شعاعية من بينها شعاع الموضع، السرعة، التسارع، القوة، كمية الحركة لذا فظلنا ان تكون المحاضرة الاولى خاصة بالتحليل الشعاعي.

تعريف الشعاع

هو قطعة مستقيمة موجهة، تربط بين نقطتين، الاولى مبدأ الشعاع والثانية تحتوي على سهم يميز اتجاهه وتسمى نهاية الشعاع.

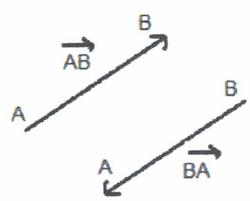
يتميز الشعاع بالخواص التالية

* اذا كانت النقطة A مبدأ الشعاع و B نهايته فانه يرمز الى الشعاع بالرمز $\overrightarrow{AB}$.

* البعد بين مبدأ ونهاية الشعاع يسمى طويلة الشعاع $\overrightarrow{AB}$ ويرمز لها بالرمز $|\overrightarrow{AB}|$ او AB وهي عبارة عن مقدار موجب.

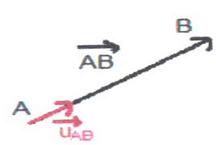
* الشعاع العكسي للشعاع $\overrightarrow{AB}$ هو الشعاع له نفس الطويلة واتجاه معاكس، ويرمز له بالرمز $-\overrightarrow{AB}$ او $\overrightarrow{BA}$

حيث ان $|\overrightarrow{BA}| = |\overrightarrow{AB}|$ **وان** $-\overrightarrow{AB} = \overrightarrow{BA}$



شعاع الوحدة

شعاع الوحدة للشعاع $\overrightarrow{AB}$ هو شعاع يرمز له $\vec{u}_{AB}$ وطويلته تساوي واحد وله نفس اتجاه الشعاع $\overrightarrow{AB}$ ويعرف بالعلاقة $\vec{u}_{AB} = \overrightarrow{AB}/|AB|$

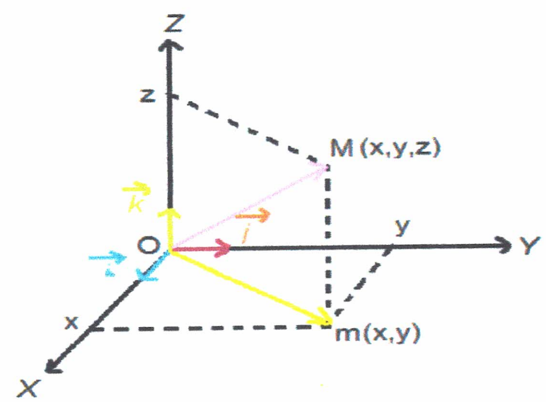


تمثيل شعاع في معلم فضائي متعامد ومتجانس

تمثيل أي شعاع $\overrightarrow{OM}$ يتطلب معرفة وضعية مبدأه ونهايته بالنسبة للمعلم المختار $(o,\vec{i},\vec{j},\vec{k})$ وذلك باتباع المراحل التالية

* نقوم بتعيين احداثيات النقطة M على المستوي $(o,\vec{i},\vec{j})$ ولتكن النقطة m .

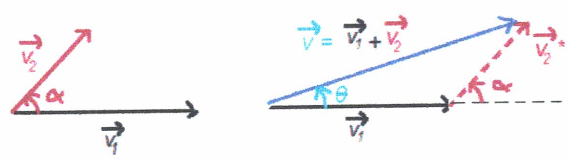
* ثم نقوم برسم خط مستقي موازي لشعاع الوحدة $\vec{k}$ ثم نقوم برسم خط مستقيم بين النقطة M والمحور $\overrightarrow{oz}$ يكون موازياً للمستوي $(o,\vec{x},\vec{y})$ كما هو مبين في الشكل.



وبالتالي كتابة شعاع الموضع للنقطة M في المعلم هي $\overrightarrow{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$

جمع شعاعين

جمع الشعاعين $\vec{v}_1$ و $\vec{v}_2$ بينهما زاوية α هو شعاع $\vec{v}$ بدايته بداية الشعاع الاول $\vec{v}_1$ ونهايته نهاية الشعاع* $\vec{v}_2$ الناتج عن عملية انسحاب الشعاع $\vec{v}_2$، اي $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$.كما هو موضح في الشكل.



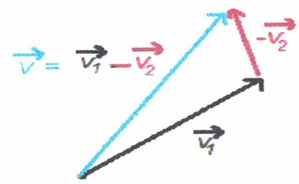
وطويلة الشعاع الناتج $|\vec{v}| = |\vec{v}_1 + \vec{v}_2| = \sqrt{v_1{}^2 + v_2{}^2 + 2v_1 . v_2 \cos\alpha}$

وان $\sin\theta = \frac{v_2}{|\vec{v}_1+\vec{v}_2|} \sin\alpha$

مع العلم ان عملية جمع الاشعة هي عملية تبديلية $\vec{v}_1 + \vec{v}_2 = \vec{v}_2 + \vec{v}_1$

طرح شعاعين

بنفس الطريقة يمكن اعتبار عملية الطرح بين شعاعين $\vec{v}_1$ و $\vec{v}_2$ هي عملية الجمع بين الشعاعين ($\vec{v}_1$ و $-\vec{v}_2$)حيث ان $-\vec{v}_2$ هو الشعاع العكسي للشعاع $\vec{v}_2$.



مع العلم ان عملية طرح الاشعة ليست عملية تبديلية أي $\vec{v}_1 - \vec{v}_2 \neq \vec{v}_2 - \vec{v}_1$

وباستعمال مفهوم المركبات، يمكننا جمع وطرح عدد كبير من الاشعة

$$\vec{v}_1\begin{pmatrix} v_{1,x} \\ v_{1,y} \\ v_{1,z} \end{pmatrix}, \vec{v}_2\begin{pmatrix} v_{2,x} \\ v_{2,y} \\ v_{2,z} \end{pmatrix}, \dots \vec{v}_n\begin{pmatrix} v_{n,x} \\ v_{n,y} \\ v_{n,z} \end{pmatrix}$$

فان حاصل جمع وطرح مجموعة من الاشعة هو شعاع يعرف ما يلي

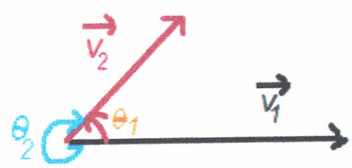
جداء شعاعين

الجداء السلمي

هو مقدار جبري او سلمي لعملية بين شعاعين $\vec{v}_1$ و $\vec{v}_2$ معرفة كما يلي $\vec{v}_1 . \vec{v}_2 = v_1 . v_2 \cos\theta$

حيث v_1 و v_2 *يمثلان على التوالي طويلتي الشعاعين* $\vec{v}_1$ و $\vec{v}_2$، وان الزاوية θ هي الزاوية المحصورة بين الشعاعين

مع العلم ان $\cos\theta = \cos\theta_1 = \cos\theta_2$



الجداء السلمي عملية تبديلية أي $\vec{v}_1 . \vec{v}_2 = \vec{v}_2 . \vec{v}_1$

الجداء السلمي عملية توزيعية $\vec{v}_1(\vec{v}_2 + \vec{v}_3) = \vec{v}_1 . \vec{v}_2 + \vec{v}_1 . \vec{v}_3$

الجداء الشعاعي

الجداء الشعاعي بين الشعاعين $\vec{v}_1$ و $\vec{v}_2$ يرمز له بالرمز $\vec{v} = \vec{v}_2 \wedge \vec{v}_1$ وهو شعاع عمودي على السطح الحامل للشعاعين $\vec{v}_1$ و $\vec{v}_2$ حيث ان طويلته تحسب $|\vec{v}| = \left|\vec{v}_1 \wedge \vec{v}_2\right| = v_1 . v_2 \sin\theta$

اذا كان الاتجاه من $\vec{v}_1$ الى $\vec{v}_2$ باتجاه عكس عقارب الساعة تكون محصلة اتجاه الجداء $\vec{v}$ خارجي للسطح $(\vec{v}_1, \vec{v}_2)$، والعكس صحيح.

مع العلم ان الجداء الشعاعي لاشعة الوحدة في المعلم الديكارتي يعطى ب

$$\vec{k} \wedge \vec{i} = \vec{j} \qquad \vec{j} \wedge \vec{k} = \vec{i} \qquad \vec{i} \wedge \vec{j} = \vec{k}$$

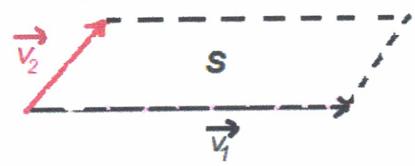
الجداء الشعاعي بدلالة مركبات الشعاعين $\vec{v}_1$ و $\vec{v}_2$ في المعلم الديكارتي $(o, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ يحدد بالمصفوفة المربعة من الرتبة الثالثة

$$\vec{v}_1 \wedge \vec{v}_2 = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ v_{1,x} & v_{1,y} & v_{1,z} \\ v_{2,x} & v_{2,y} & v_{2,z} \end{vmatrix}$$

$\vec{v}_1 \wedge \vec{v}_2 = (v_{1,}$

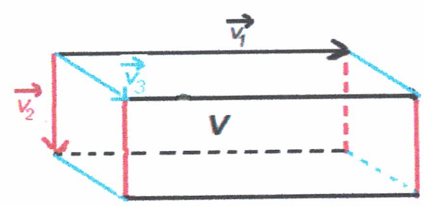
سطح متوازي الاضلاع

يتمثل في طويلة الجداء الشعاعي $\vec{v}_1 \wedge \vec{v}_2$ يمثل مساحة متوازي الاضلاع المكون بالشعاعين $\vec{v}_1$ و $\vec{v}_2$



حجم متوازي السطوح

يتمثل في الجداء المختلط المكون بالاشعة $\vec{v}_1$ و $\vec{v}_2$ و $\vec{v}_3$



الجداء الشعاعي عملية غير تبديلية اي $\vec{v}_1 \wedge \vec{v}_2 \neq \vec{v}_2 \wedge \vec{v}_1$

الدراسة الوصفية للحركة

تهتم بدراسة حركة الرياضي من خلال تحديد المتغيرات النوعية(المكانية-الزمانيةespacion-temporelle) المتمثلة في المسافة، السرعة، الزمن، التسارع، وتحديد المسار المنجز دون التطرق لمسببات الحركة وهذه الدراسة تدعى بالحركيات cinématique.

مفهوم المعلم

هو المرجع الذي يتم من خلاله دراسة وتحديد مواضع المتحرك وهذا المعلم قد يكون ثابت او متحرك يتم اختياره حسب طبيعة الحركة كما يمكننا القول بان مفهوم السكون والحركة هو مفهوم نسبي يتبع حالة المتحرك بالنسبة لمعلم يأخذ كمرجع، وعلى هذا الاساس لا يمكن ان يكون لمتحرك نفس الموضع، السرعة والتسارع بالنسبة لمعلمين مختلفين.

مفهوم المسار

ان المحل الهندسي للمواضع التي يشغلها المتحرك تدريجياً خلال الزمن، وقد يكون للمسار وجود الطريق الذي يتبعه العداء، وقد لا يكون له وجود كالمسار الذي يرسمه رمي قرص او رمي كرة في الفضاء، ان معرفة مسار المتحرك هي اول وصف لحركته، ولكنه عنصر غير كافي لذى وجب معرفة كيفية اتباعه لهذا المسار من خلال تحديد الموضع وشعاع الموضع والسرعة.

مفهوم وتحديد الموضع وشعاع الموضع

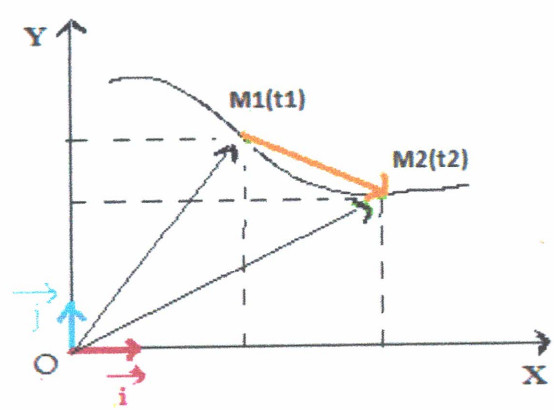
الموضع يعبر عنه بإحداثيات تواجد المتحرك في المعلم المختار، اما شعاع الموضع هو شعاع بدايته بداية المعلم ونهايته موضع تواجد المتحرك.

مفهوم وتحديد شعاع الانتقال

إذا انتقل متحرك من الموضع M1 الى الموضع M2 فإننا نمثل انتقاله بمتجه اي بقطعة مستقيمة موجهة من M1 الى M2 ، ونكتب متجه الانتقال $\overrightarrow{M_1M_2}$ *وطول هذا المتجه يساوي الانتقال المنجز ويسمى بطاولة شعاع الانتقال* $||\overrightarrow{M_1M_2}||$.

مفهوم وتحديد السرعة

مفهوم السرعة يعبر عن المسافة التي ينتقل بها المتحرك خلال مجال زمني معين، وفي اي انتقال نميز نوعين من السرعات هما السرعة اللحظية والسرعة المتوسطة وهي مقدار شعاعي تقاس بوحدة (m/s) المتر\ثا.



السرعة اللحظية

هي مقدار يعبر عن سرعة المتحرك في لحظة زمنية معينة ويرمز لها بالرمز $\vec{v}$، وهي عبارة عن مشتق شعاع الموضع بالنسبة للزمن، ومثال ذلك السرعة التي يشير اليها مؤشر عداد السيارة في اللحظة التي يتفحص فيها السائق العداد.

السرعة المتوسطة:

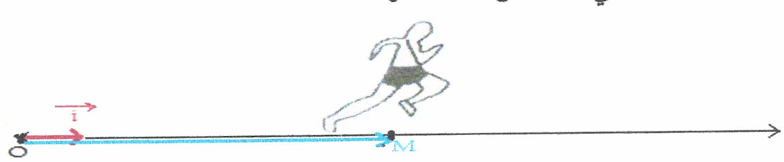
هي مقدار يعبر عن السرعة التي انتقل بها المتحرك لقطع مسافة ما خلال مجال زمني معين ويرمز لها بالرمز $\vec{v}_{moy}$، وهي تعبر عن مقدار المسافة المقطوعة بالنسبة للمجال الزمني المستغرق، لذا يعبر عنها بالنسة بين شعاع الانتقال والمجال الزمني المستغرق $\vec{v}_{moy} = \frac{\overrightarrow{M_1M_2}}{\Delta t}$

I تحليل الحركة الخطية

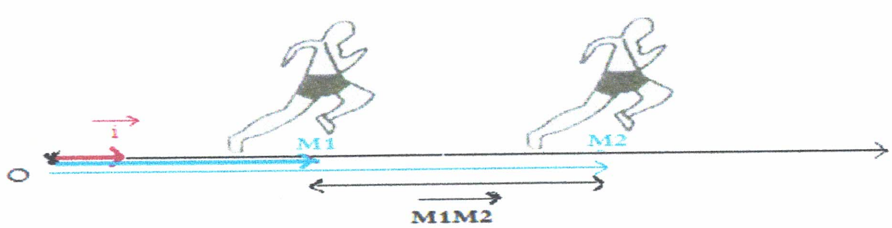
لدراسة مثل هذا النوع يتم اولاً تحديد معلم خطي يتميز بمبدأ واتجاه $(O, \vec{i})$ يتم من خلاله دراسة الحركات الخطية مثل سباق السرعة 100 متر، السباحة في رواق المسبح.

تحديد الموضع وشعاع الموضع

اذا كان متحرك يتحرك حركة خطية في معلم خطي $(O, \vec{i})$ وكان يتواجد في الموضع M، فانه يمكن تمثيله بشعاع الموضع $\overrightarrow{OM}$ وهو مقدار شعاعي يعبر عن اتجاه الحركة. $\overrightarrow{OM} = x\,\vec{i}$



تحديد شعاع الانتقال



$$\Delta\,\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OM}_1 - \overrightarrow{OM}_2$$
$$\Delta\,\overrightarrow{OM} = x_2\,\vec{i} - x_2\,\vec{i} = \Delta x\,\vec{i}$$

السرعة الخطية $\vec{v}$

من خلال شعاع الموضع $\overrightarrow{OM} = x\,\vec{i}$

$$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} = \frac{dx}{dt}\,\vec{i} \qquad \text{أي} \qquad \vec{v} = \dot{\overrightarrow{OM}} = \dot{x}\,\vec{i}$$

السرعة المتوسطة $\vec{v}_{moy}$

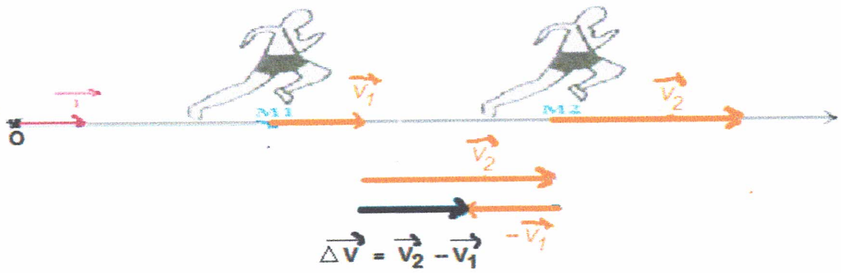
من خلال شعاع الانتقال $\overrightarrow{M_1M_2} = \Delta x\,\vec{i}$ نجد

$$\vec{v}_{moy} = \frac{\overrightarrow{M_1M_2}}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t}\,\vec{i}$$

التسارع المتوسط: نعرف متجه التسارع المتوسط انطلاقاً من تغير متجه السرعة اللحظية بين اللحظتين t_1 و t_2 .

عند اللحظة t_1 $\qquad \vec{v_1} = v_{1x}\,\vec{i}$

وعند اللحظة t_2 $\qquad \vec{v_2} = v_{2x}\,\vec{i}$



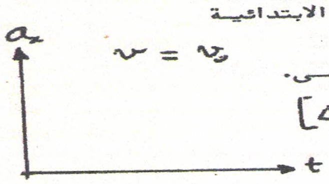
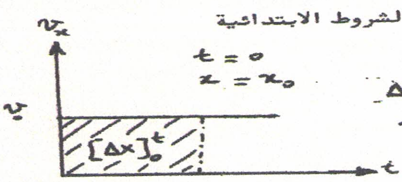
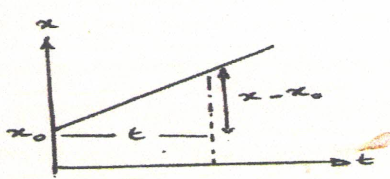
ومنه نجد $\Delta\vec{v} = \Delta v_x\,\vec{i}$ وبالتالي التسارع الوسطي $\vec{a}_{moy} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}\,\vec{i}$ اما الطويلة

$$a_{moy} = \sqrt{\left(\frac{\Delta v_x}{\Delta t}\right)^2}$$

التسارع اللحظي $\qquad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = a_x\,\vec{i}$

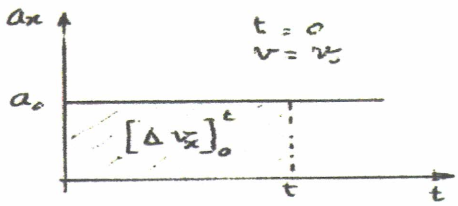
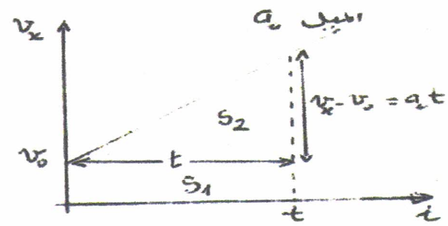
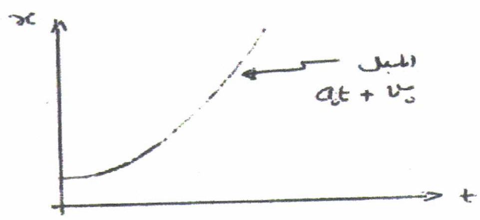
حركة مستقيمة منتظمة :

وهي حركة ذات تسارع معدوم .

بالحساب	تسمح المنحنيات بايجاد قوانين الحركة
$a_x = 0$	 الشروط الابتدائية $v = v_0$ المساحة تحت المنحنى. $[\Delta v_x]_0^t = 0$ ومنه $v_x = v_0$
$dv_x = a_x\,dt = 0$ $v_x = cte = v_0$	 الشروط الابتدائية $t = 0$ $x = x_0$ السطح تحت المنحنى $[\Delta x]_0^t = x - x_0 = v_0 t$ $x = x_0 + v_0 t$
$dx = v_x\,dt$ $\int_{x_0}^{x} dx = \int_0^t v_0\,dt = v_0 \int_0^t dt$ $x - x_0 = v_0 (t - 0)$	 $v_0 =$ الميل $v_0 = \frac{x - x_0}{t}$

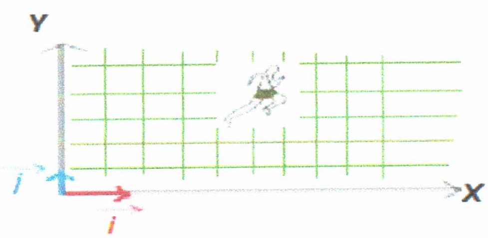
الحركة المستقيمة المتغيرة بانتظام :

وهي حركة ذات تسارع ثابت .

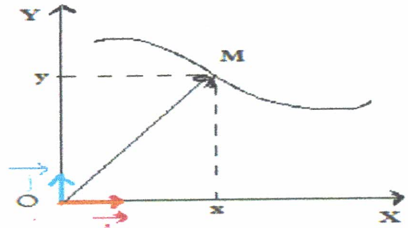
من المنحنى يكون لدينا	بالحساب
 $[\Delta v]_0^t = a_0 t$ $v_x - v_0 = a_0 t$ $v_x = v_0 + a_0 t$	$a_x = a_0$
 $[\Delta x]_0^t = x - x_0$ $= (S_1) + (S_2)$ $x - x_0 = (v_0 t) + \frac{1}{2} a_0 t \cdot t$ $x = \frac{1}{2} a_0 t^2 + v_0 t + x_0$	$d v_x = a_0 dt$ $\int_{v_0}^{v} d v_x = v_x - v_0 = \int_0^t a_0 dt$ $v_x - v_0 = a_0 (t - 0)$ $v_x = v_0 + a_0 t$
	$dx = v \cdot dt$ $\int_{x_0}^{x} dx = x - x_0 = \int_0^t v \, dt$ $= \int_0^t (v_0 + a_0 t) \, dt$ $x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2} a_0 t^2$ $x = \frac{1}{2} a_0 t^2 + v_0 t + x_0$

تحليل الحركة في المستوي

يتم دراسة الحركة في معلم متعامد ومتجانس $(O, \vec{i}, \vec{j})$، والذي يتم من خلاله تحديد مواضع المتحرك في ذلك المستوي مثل حركة الرياضي في الملعب



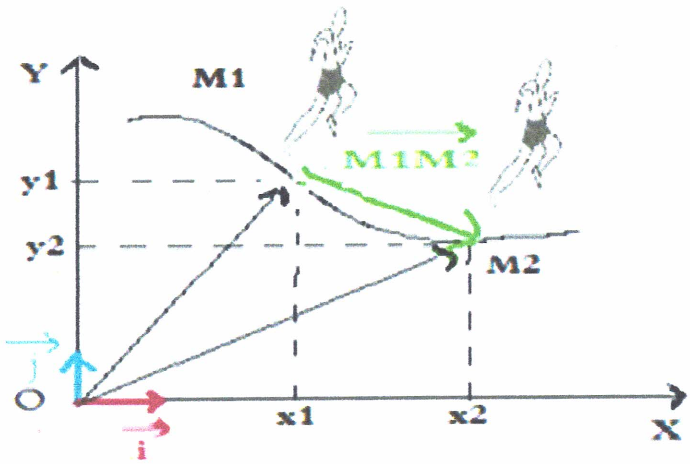
تحديد الموضع وشعاع الموضع: في هذا النوع نكتفي بوسيطان سلميان لتحديد موضع المتحرك بالنسبة للمعلم المختار



$$\overrightarrow{OM} = x\vec{i} + y\vec{j}$$

II. تحليل الحركة المستوية

تحديد شعاع الانتقال



$$\overrightarrow{OM_1} = x_1\vec{\imath} + y_1\vec{\jmath}$$
$$\overrightarrow{OM_2} = x_2\vec{\imath} + y_2\vec{\jmath}$$
$$\overrightarrow{OM_1} + \overrightarrow{M_1M_2} = \overrightarrow{OM_2} \quad \rightarrow \overrightarrow{M_1M_2} = \overrightarrow{OM_2} - \overrightarrow{OM_1}$$
$$\overrightarrow{M_1M_2} = x_2\vec{\imath} + y_2\vec{\jmath} - (x_1\vec{\imath} + y_1\vec{\jmath}) \quad \rightarrow \overrightarrow{M_1M_2} = (x_2 - x_1)\vec{\imath} + (y_2 - y_1)\vec{\jmath}$$
$$\overrightarrow{M_1M_2} = \Delta x\,\vec{\imath} + \Delta y\,\vec{\jmath}$$

السرعة اللحظية : لدينا عبارة شعاع الموضع $\overrightarrow{OM} = x\,\vec{\imath} + y\,\vec{\jmath}$ ومنه نجد

$$\vec{v} = \dot{\overrightarrow{OM}} = \dot{x}\,\vec{\imath} + \dot{y}\,\vec{\jmath}$$

السرعة المتوسطة :

$$\vec{v}_{moy} = \frac{\overrightarrow{M_1M_2}}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t}\,\vec{\imath} + \frac{\Delta y}{\Delta t}\,\vec{\jmath}$$

التسارع اللحظي $\vec{a}$

لدينا

$$\vec{r} = \overrightarrow{OM} = \begin{cases} x(t) \\ y(t) \end{cases}$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} = \begin{cases} \dfrac{dx(t)}{dt} = v_x \\ \dfrac{dy(t)}{dt} = v_y \end{cases}$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = a_x\,\vec{\imath} + a_y\,\vec{\jmath}$$

$$\vec{a} = \frac{dv_x}{dt}\,\vec{\imath} + \frac{dv_y}{dt}\,\vec{\jmath} = \dot{v}_x\,\vec{\imath} + \dot{v}_y\,\vec{\jmath}$$

$$\vec{a} = \frac{d^2x}{d^2t}\,\vec{\imath} + \frac{d^2y}{d^2t}\,\vec{\jmath} = \ddot{x}\,\vec{\imath} + \ddot{y}\vec{\jmath}$$

التسارع المتوسط $\vec{a}_{moy}$

نعرف متجه التسارع الوسطي انطلاقاً من تغير متجه السرعة اللحظية بين اللحظتين t_1 و t_2 .

عند اللحظة t_1
$$\vec{v_1} = v_{1_x}\vec{\imath} + v_{1_y}\vec{\jmath}$$

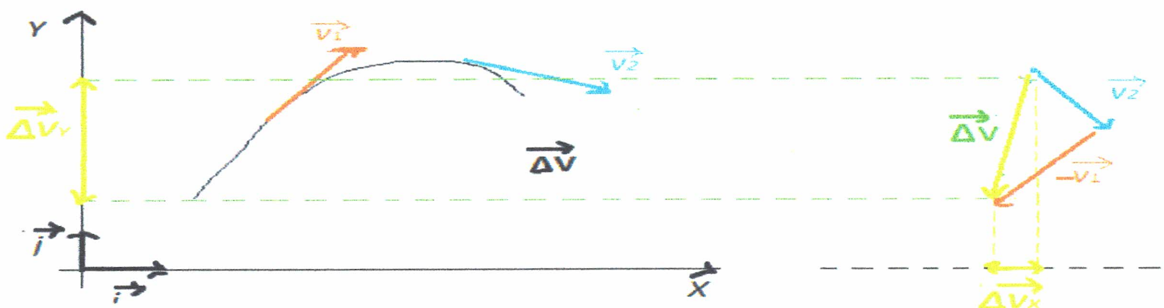
وعند اللحظة t_2
$$\vec{v_2} = v_{2_x}\vec{\imath} + v_{2_y}\vec{\jmath}$$

ومنه نجد
$$\Delta\vec{v} = \Delta v_x\vec{\imath} + \Delta v_y\vec{\jmath}$$

وبالتالي التسارع الوسطي
$$\vec{a}_{moy} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}\vec{\imath} + \frac{\Delta v_y}{\Delta t}\vec{\jmath}$$

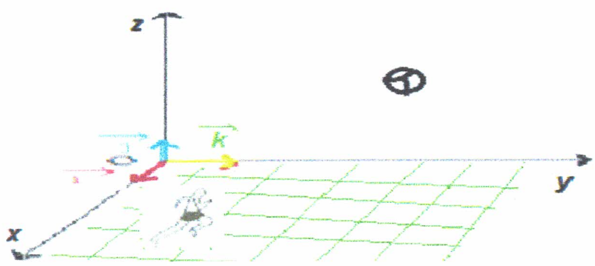
اما الطويلة
$$a_{moy} = \sqrt{\left(\frac{\Delta v_x}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta v_y}{\Delta t}\right)^2}$$

كما هو مبين في الشكل نلاحظ بان اتجاه التسارع $\vec{a}_{moy}$ يكون في نفس اتجاه $\Delta\vec{v}$ اي في اتجاه تقعر المسار كما هو مبين في الشكل

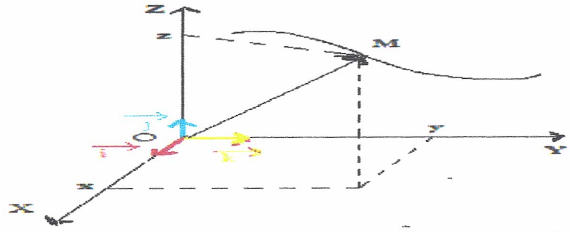


III- دراسة الحركة في الفضاء:

يتم دراسة الحركة في معلم متعامد ومتجانس $(O,\vec{\imath},\vec{\jmath},\vec{k})$، والذي يتم من خلاله تحديد مواضع المتحرك في الفضاء مثل حركة الكرة في الملعب

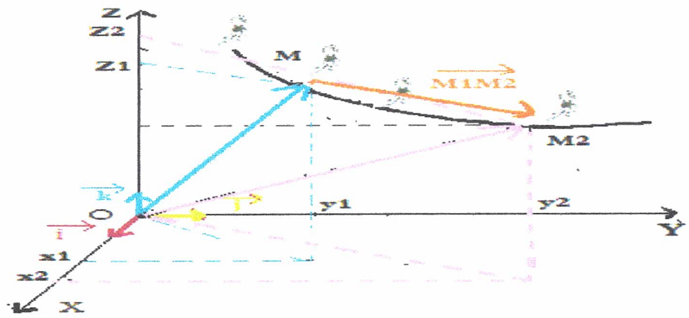


تحديد الموضع وشعاع الموضع: عندما ندرس الحركة في فضاء ذو ثلاثة ابعاد فان المتحرك يحدد بمتجه $\overrightarrow{OM}$ مركباته هي $(x\vec{\imath}، y\vec{\jmath}، z\vec{k})$ في هذا النوع نكتفي بثلاثة وسائط سلمية لتحديد موضع المتحرك بالنسبة للمعلم المختار



$$\overrightarrow{OM} = x\,\vec{\imath} + y\,\vec{\jmath} + z\,\vec{k}$$

تحديد شعاع الانتقال



$$\overrightarrow{OM_1} = x_1\vec{i} + y_1\vec{j} + z_1\vec{k}$$
$$\overrightarrow{OM_2} = x_2\vec{i} + y_2\vec{j} + z_2\vec{k}$$
$$\overrightarrow{OM_1} + \overrightarrow{M_1M_2} = \overrightarrow{OM_2} \rightarrow \overrightarrow{M_1M_2} = \overrightarrow{OM_2} - \overrightarrow{OM_1}$$
$$\overrightarrow{M_1M_2} = x_2\vec{i} + y_2\vec{j} + z_2\vec{k} - (x_1\vec{i} + y_1\vec{j} + z_1\vec{k})$$
$$\overrightarrow{M_1M_2} = (x_2 - x_1)\vec{i} + (y_2 - y_1)\vec{j} + (z_2 - z_1)\vec{k}$$
$$\overrightarrow{M_1M_2} = \Delta x\,\vec{i} + \Delta y\,\vec{j} + \Delta z\,\vec{k}$$

السرعة اللحظية

لدينا عبارة شعاع الموضع $\overrightarrow{OM} = x\,\vec{i} + y\,\vec{j} + z\,\vec{k}$

ومنه نجد $\vec{v} = \dot{\overrightarrow{OM}} = \dot{x}\,\vec{i} + \dot{y}\,\vec{j} + \dot{z}\,\vec{k}$

طويلة السرعة اللحضية $\vec{v} = \sqrt{(\dot{x})^2 + (\dot{y})^2 + (\dot{z})^2}$

السرعة المتوسطة

$$\vec{v}_{moy} = \frac{\overrightarrow{M_1M_2}}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t}\vec{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t}\vec{j} + \frac{\Delta z}{\Delta t}\vec{k}$$

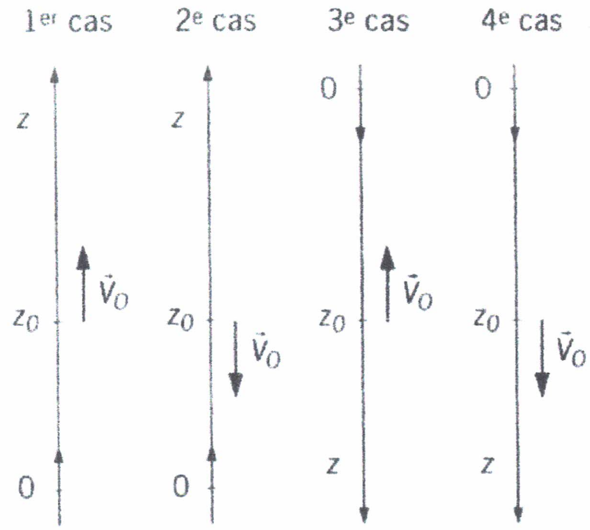
طويلة السرعة المتوسطة

$$v_{moy} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{\Delta t}\right)^2}$$

التسارع اللحظي

$$\vec{r}(t) = \overrightarrow{OM}(t) \begin{cases} x \\ y \\ z \end{cases}$$

$$\vec{v}(t) = \frac{d\overrightarrow{OM}(t)}{dt} \begin{cases} v_x = \dot{x} \\ v_y = \dot{y} \\ v_z = \dot{z} \end{cases} \Rightarrow \vec{a}(t) = \begin{cases} \dot{v}_x = \ddot{x} \\ \dot{v}_y = \ddot{y} \\ \dot{v}_z = \ddot{z} \end{cases}$$



Les équations du mouvement (accélération, vitesse et position) sont définies dans le texte.

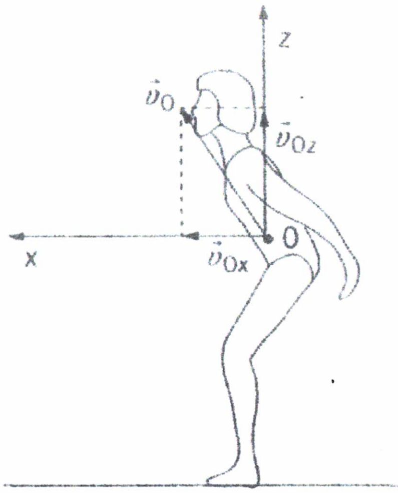
Figure 3-18. Orientation de l'axe vertical (Oz) et de la vitesse initiale (v_0) suivan 4 cas (z_0 représente la position initiale)

4 Applications

MOUVEMENT AÉRIEN, TEST DE SAUT VERTICA

Un sujet réalise un saut vertical départ pieds joints (fig. 3-19). Lors de la phas aérienne, le sujet est soumis à une force externe qui son propre poids. Nous avor donc :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a} = \vec{P} = m\vec{g} \Rightarrow \vec{a} = \vec{g}$$



L'origine des axes (point O) est placée au niveau du centre de gravité de l'athlète. $\vec{v}_o, \vec{v}_{0_x}, \vec{v}_{0_y}$ Représentent respectivement la vitesse initiale, la composante horizontale, et la composante verticale de la vitesse initiale.

figure 3-19. Position du sujet lors d'un saut vertical départ pieds joints

pouvons suivant les axes déterminer, pour le centre de gravité, les équations ouvement (vitesse et position) par dérivation successive de l'accélération.

$$\vec{g} \Rightarrow \begin{Bmatrix} (Ox): & a_x = 0 \\ (Oz): & a_z = -g \end{Bmatrix}$$

$$\vec{v}(t) \Rightarrow \begin{Bmatrix} (Ox): & v_{x(t)} = v_{0_x} \\ (Oz): & v_{z(t)} = -gt + v_{0_z} \end{Bmatrix}$$

$$(t) \Rightarrow \begin{Bmatrix} (Ox): & x_{(t)} = v_{0_x} t + x_0 \\ (Oz): & z_{(t)} = -\frac{1}{2} g t^2 + v_{0_z} t + z_0 \end{Bmatrix}$$

origine des axes est placée au niveau du centre de gravité de l'athlète au début du mouvement. Dans ces conditions, la position initiale (à l'instant $t = 0 = t_0$) est nulle, L'équation de la position du sujet devient :

$$(t) \Rightarrow \begin{Bmatrix} (Ox): & x_{(t)} = v_{0_x} t \\ (Oz): & z_{(t)} = -\frac{1}{2} g t^2 + v_{0_z} t \end{Bmatrix}$$

À partir de ces équations, nous pouvons déterminer le temps (t_1) nécessaire à l'athlète pour arriver au sommet de sa trajectoire. À cet instant, la vitesse verticale du centre de gravité du sujet est nulle, nous avons :

$$v_z(t_1) = -gt_1 + v_{0z} \Rightarrow t_1 = \frac{v_{0z}}{g}$$

Le temps total (t_2) de la phase aérienne (le temps de suspension) est défini à partir de l'instant ou la position verticale du centre de gravité du sujet est nulle. Nous avons donc :

$$z(t_2) = -\frac{1}{2}gt_2^2 + v_{0z}t_2 = t_2\left(-\frac{1}{2}gt_2 + v_{0z}\right) = 0$$

Le temps de suspension est : $t_2 = \dfrac{2v_0}{g} = 2t_1$

Le temps total du saut est égal à deux fois le temps de monté t_1. Ce qui signifie que le temps de montée est égal au temps de descente.

Nous pouvons déterminer la hauteur maximale atteinte par le centre de gravité. L'apogée de la trajectoire est atteint par la valeur de la position verticale du centre de gravité à l'instant t_1 :

$$z(t_1) = -\frac{1}{2}gt_1^2 + v_{0z}t_1 = -\frac{1}{2}g\frac{v_{0z}^2}{g^2} + v_{0z}\frac{v_{0z}}{g} = \frac{v_{0z}^2}{2g}$$

La vitesse verticale initiale peut être déterminée à partir du temps de suspension. Nous avons dans ce cas :

$$t_2 = \frac{2v_{0z}}{g} \Rightarrow v_{0z} = \frac{g}{2}t_2$$

La hauteur maximale atteinte par le centre de gravité de l'athlète peut être définie à partir du temps de suspension, nous obtenons :

$$z(t_1) = \frac{v_{0z}^2}{2g} = \frac{1}{2g}\cdot\frac{g^2}{4}t_2^2 = \frac{1}{8}gt_2^2$$

Lors d'un saut vertical, il est possible de déterminer la hauteur maximale atteinte par l'athlète en mesurant le temps de suspension. Ceci est rendu possible par l'utilisation de tapis spécifique qui chronomètre la phase aérienne du saut. Notons que la durée de la phase aérienne du saut ne dépend que de la composante verticale de la vitesse initiale.

Exemple :

Un sujet réalise un saut vertical avec une vitesse initiale perpendiculaire au sol (la vitesse initiale est supportée uniquement par l'axe vertical, le sujet se réceptionne à l'endroit de son décollage). Dans ce cas nous avons :

$$\vec{v}_0 = \vec{v}_{0_z} \Rightarrow \vec{v}_{0_x} = \vec{0}$$

Le temps de suspension $t_2 = 0,5 \ s$

Dans ces conditions la hauteur maximale atteinte par l'athlète est :

$$z_{(t_1)} = \frac{1}{8}g.t_2^2 = \frac{1}{8}.9,81.0,5^2 = 0,30 \ m$$

Et la vitesse initiale sera :

$$v_0 = v_{0_z} = \frac{g}{2}.t_2 = \frac{9,81}{2}.0,5 = 2,45 \ m.s^{-1}$$

Maintenant, l'athlète réalise un saut avec la même vitesse initiale mais cette fois, sa vitesse initiale fait un angle α de 45° avec l'axe horizontal (Ox). Dans ce cas, nous avons :

$$\vec{v}_0 = \vec{v}_{0_z} + \vec{v}_{0_x}$$

La vitesse initiale verticale est donc :

$$v_{0_z} = v_0.\sin\alpha = 2,45.\sin 45° = 1,73 \ m.s^{-1}$$

Le temps de suspension sera :

$$t_2 = \frac{2v_{0_z}}{g} = \frac{2.1,73}{9,81} = 0,35 \ s$$

La hauteur maximale atteinte sera alors de :

$$z_{(t_1)} = \frac{1}{8}g.t_2^2 = \frac{1}{8}.9,81.0,35^2 = 0,15 \ m$$

À partir de cet exemple, nous avons montré que pour une vitesse initiale identique, le temps de suspension ainsi que la hauteur maximale atteinte par le centre de gravité sont obtenus dès lors que la vitesse initiale est supportée par l'axe vertical (le sujet se réceptionne à l'endroit de son décollage).

تحديد مركز ثقل الجسم :

إذا كان لدينا جسم يتكون من عدة أجزاء فإن كتلة ذلك الجسم هي مجموع الكتل الجزئية $M = \sum_i m_i$ (Kg)

أما ثقله هو مجموع الثقل الجزئي $\vec{P} = \sum_i \vec{P_i}$ (N)

وهذا الثقل يتمركز في نقطة وهمية un point fictif هي مركز الثقل (CG) Centre de Gravité

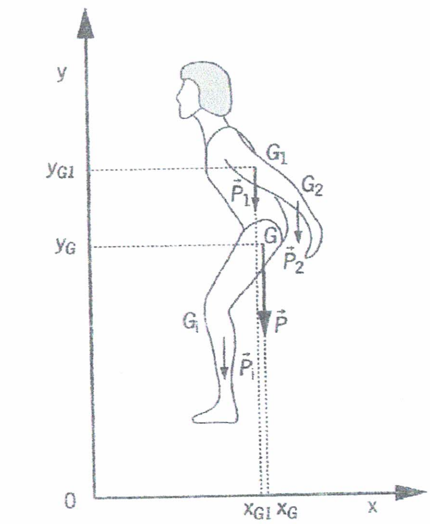
وضعية هذه النقطة تتعلق بالفاصلة أين يكون مجموع الأثقال الجزئية معدوم

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{M_G}(\vec{P_i}) = \vec{0}$$ avec $\vec{P_i}$ points élementaire du segment i

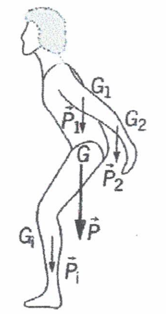
* ملاحظة 1 : إذا كانت الجملة المدروسة (الجسم) عبارة عن جسم صلب سواءا كان متجانس أو غير متجانس homogène ou non فإن وضعية (CG) تكون نقطة ثابتة مهما كانت وضعية الجسم في الفضاء

* ملاحظة 2 : إذا كان هذا الجسم يتكون من مجموعة من المفاصل فإن وضعية مركز الثقل (CG) ليست ثابتة وهي تتعلق حسب ترتيب المفاصل المكونة للجسم في الفضاء وهو ما ينطبق على جسم الإنسان.

5/



Coordonnées des centres de gravité des différents segments suivant deux axes (Ox ; Oy)



Poids élémentaires et centres de gravité des segments pour une gymnaste

لحساب مركز ثقل الجسم نعتبر كل مفصل عبارة عن جسم صلب متجانس كتلته m_i و ثقله الجزئي P_i

$\sum_{i=1}^{n} \vec{M}_G(\vec{P_i}) = \vec{0}$ ($\vec{P_i} = m_i \vec{g}$ ثقل المفصل P_i)

$\sum_{i=1}^{n} (\vec{GG_i} \wedge \vec{P_i}) = 0 \Rightarrow \sum_{i=0}^{n} (m\, \vec{GG_i} \wedge \vec{g}) = 0 \quad \dots(1)$

المعادلة (1) تكون معدومة يجب $\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{GG_i} = 0 \dots(2)$

و عند وضع الشخص في معلم متعامد ومتجانس $(O, \vec{ox}, \vec{oy}, \vec{oz})$

$\vec{GG_i} = \vec{GO} + \vec{OG_i} \quad \dots (3)$

بتعويض (3) في (2) نجد

$\sum_{i=1}^{n} m_i (\vec{GO} + \vec{OG_i}) = \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{GO} + \sum m_i \vec{OG_i} = 0$

$\sum_{i=1}^{n} m_i = m$ et $\vec{GO} = -\vec{OG}$

donc $-m\,\vec{OG} = -\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{OG_i} \Rightarrow \vec{OG} = \frac{\sum m_i \vec{OG_i}}{m}$

soit $x_G = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{n} m_i x_{G_i}$, $y_G = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{n} m_i y_{G_i}$, $z_G = \frac{1}{m} \sum m_i z_{G_i}$

تعيين مركز ثقل المفاصل [2]

Centres de masse segmentaire adaptés de Winter (1990).

Membre	Segment	Masse seg./ masse corp.	Distance du CM/longueur du segment	
			Proximale	Distale
Tête, cou et tronc	Épaule/hanche	0,578	0,66	0,34
Tête et cou	7e cervical/oreille	0,081	1,000	0,000
Main	Poignet/2e 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

pour quelques segments la masse normalisée en fonction de celle de l'individu. Pour une masse totale de 70 kg, votre avant-bras a une masse de 1,12 kg (70 kg • 0,016 = 1,12 kg). Le tableau indique également les points de repère des articulations ainsi que la position des centres de masse segmentaires rapportés en relation avec la longueur de chaque segment défini par ses repères. Ainsi, pour un avant-bras de 0,255 m de long, le centre de masse est situé à 0,110 m (0,255 m • 0,430 = 0,110 m) de l'articulation proximale, soit le coude, comme l'indique la figure 4.14. Mais il est aussi bien situé à 0,145 m (0,255 m • 0,570 = 0,145 m) de l'articulation distale, soit celle du poignet.

La figure 4.15 illustre pour l'ensemble du corps la position des centres de masses segmentaires exprimée en pourcentage de la longueur des segments respectifs et par rapport aux articulations proximales et distales. Contrairement au centre de masse corporel qui peut se déplacer se-

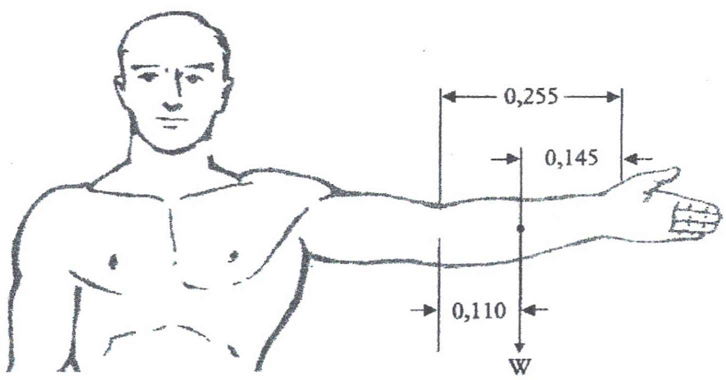


Figure 4.14
Le centre de masse de l'avant-bras est situé à 0,110 m du coude (articulation proximale) ou à 0,145 m du poignet (articulation distale).

[2]Paul Allard, Jean-Pierre Blanchi, analyse du mouvement humain par la biomecanique, 2 edution, eution vigot , canada 2000, p53.