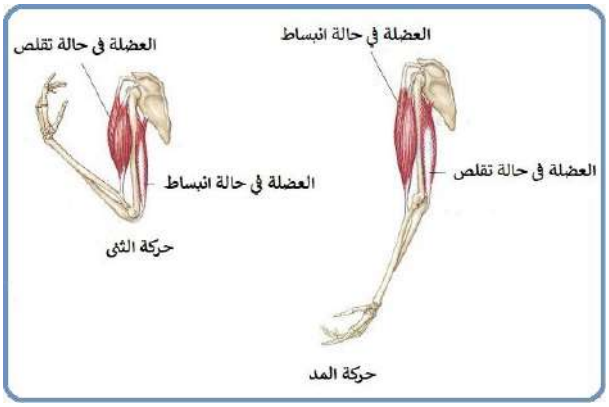
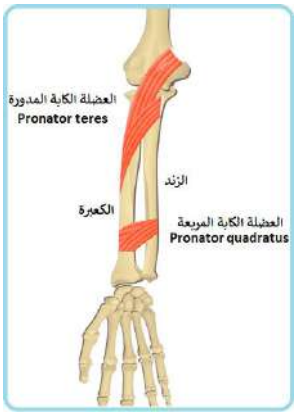
العضلة المدورة للكب (pronator teres) عضلة مدورة

وهي احد عضلات الطرف العلوي، تمتد هذه العضلة من عظمي العضد والزند إلى عظم الكعبرة ، فائدة هذه العضلة هي **تدوير** الساعد حول محوره الطولي الى الجانب الانسي (Pronation) (أي التدوير بحيث يواجه باطن الكف الأرض ، أي بعكس دوران عقرب الساعة) فضلاً عن **ثني** الساعد على العضد ، وتوجد عضلة أخرى قريبة على الكف تقوم بنفس العمل وهي العضلة الكآبة المدورة (**pronator quadratus**)

ينشأ الرأس العضدي من الحافة الوسطية فوق اللقمة العضدية وينشأ الرأس الزندي من الناتئ الإكليلي للزند ، تدغم العضلة في منتصف السطح الجانبي لجسم الكعبرة .



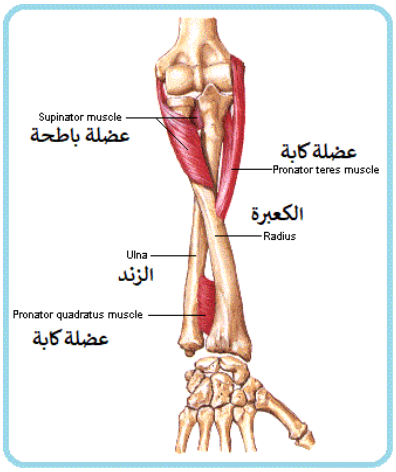
شكل (1-59) تبادل العمل العضلي بين حركتي الثني والمد



شكل (1-60) منشأ ومدغم العضلة المدورة او الكآبة

العضلة الباسطة او الباطحة (Supinator muscle)

وتقع خلف الساعد وتعمل على تدوير الكعبرة على الزند لتظهر حركة البطح والذي فيه يواجه ظهر اليد الأرض ، أي تتمثل مهمتها في بطح الساعد. وهذه العضلة تعمل بشكل مضاد للعضلة السابقة.



شكل (1-61) يوضح العضلات العاملة على حركتي الكب والبطح

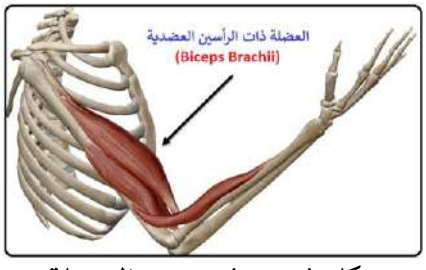


شكل (1-62) يوضح العضلة الباسطة او الباطحة

التأثير الميكانيكي للعضلات

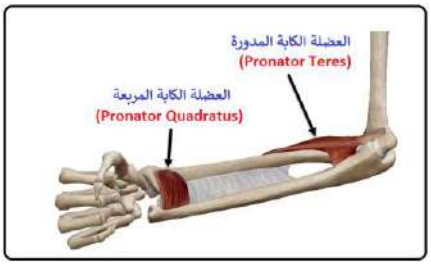
يختلف عمل العضلات المشاركة في الحركات الاساسية من حيث مقدار مساهمتها واتجاهاها وفي بعض الاحيان يكون للعضلة اكثر من حركة اساسية ، وصنفت العضلات الى (5) عضلات من حيث التأثير وهي:

1. العضلات المحركة (Agonists) : تقوم بالعمل الأساسي مثل العضلة ذات الرأسين العضدية (Biceps Brachii) في ثني الساعد على العضد.



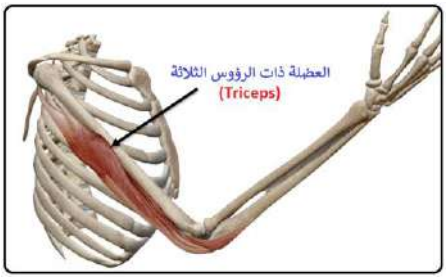
شكل (1-63) يوضح العضلة المحركة

2. العضلات المساعدة (Synergists) : تقوم بمساعدة العضلة المحركة الأساسية مثل الكابة المربعة (Pronator quadratus) تساعد العضلة الكابة الرئيسية لتدوير الكعبرة على الزند.



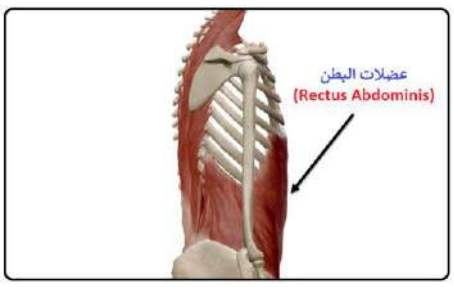
شكل (1-64) يوضح العضلة المساعدة

3. العضلات المضادة او المقابلة (Antagonists) : تعمل بعكس العضلة الرئيسية مثل العضلة ذات الثلاث الرؤوس العضدية تعمل بعكس العضلة ذات الرأسين العضدية.



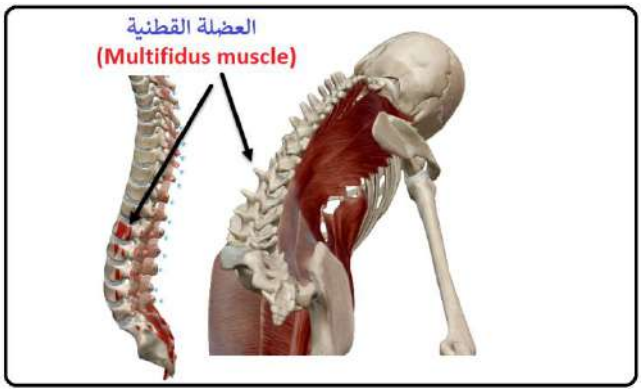
شكل (1-65) يوضح العضلة المضادة

4. العضلات المثبتة (Stabilizers) : غالباً تدعم قوام الجسم مثل عضلات الظهر والبطن ويكون عملها سابقاً لعمل العضلة المحركة ، كما انها تتواجد على مناشئ العضلات.



شكل (1-66) يوضح العضلة المثبتة

5. العضلات المعادلة او المكافئة (neutralizers) : وضيفتها الأساسية عزل الحركات الغير مرغوب فيها اثناء الحركة ولها الفضل في عدم الإصابات ، مثل عضلة (multifidi) تعمل لتوزيع الحمل على الفقرات القطنية.



شكل (1-67) يوضح العضلة المعادلة

تطبيقات الروافع (العتلات) على جسم الانسان

يمكن تمثيل النقاط الثلاث للعتلات (القوة والمحور والمقاومة) في العضلات والعظام وعلى الشكل الاتي:

1- المفاصل في جسم الانسان يقابل نقطة المحور في العتلات

2- مدغم العضلات في جسم الانسان يقابل نقطة القوة في العتلات

3- مراكز ثقل او الاوزان او الاثقال على الأطراف تقابل نقطة المقاومة في العتلات

امثلة للعتلات في جسم الانسان

النوع الأول : العضلة ذات الثلاث رؤوس العضدية عتلة من النوع الأول لان مدغم العضلة قبل مفصل المرفق والساعد هو المقاومة.

النوع الثاني : العضلة التوأمية الموجودة خلف الساق (البطة) عند الوقوف على رؤوس الأصابع عتلة من النوع الثاني ، ان نقطة رؤوس الأصابع عند رفع الكعب للاعلى هي المحور ونقطة ادغام العضلة في الثلث الوسطي للسطح الخلفي لعظم العقب اما المقاومة فتكون في منتصف الساق والمقاومة هنا هو مركز ثقل الجسم.

النوع الثالث : العضلة ذات الرأسين العضدية عتلة من النوع الثالث لان مدغم العضلة بعد مفصل المرفق والساعد هو المقاومة

مثال : العتلات في جسم الانسان

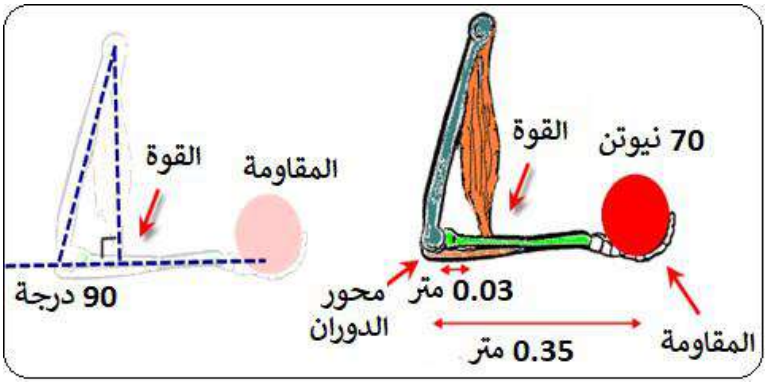
احسب مقدار القوة المطلوبة لثبات عضلة ذات الرأسين العضدية عند مقاومتها لقوة مقدارها (70 نيوتن) تبتعد بمقدار (0.35 متر) عن مفصـــل المرفق اذا علمت ان مدغم العضـلة تبتعد بمقدار (0.03 متر) عن مفصـل المرفق وبزاوية قائمة مع عظم الساعد. (اهمل كتلة الذراع) ويلاحظ بان العضلة متعامدة.

القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها

$$\text{القوة} = \frac{\text{المقاومة} \times \text{ذراعها}}{\text{ذراع القوة}}$$

$$\text{القوة} = \frac{70 \times 0.35}{0.03}$$

القوة = 816.7 نيوتن أي اننا سـنسـتخدم (816.7 نيوتن) للمحافظة على بقاء الوزن (70 نيوتن) ثابتاً وهذا يعني خسارة في القوة العضلية ، وسببها قصر ذراع القوة



شكل (1-68) يوضح قياسات الوضع التشريحي للعضلة ذات الرأسين العضدية والثقل المرفوع

(66)

الباب الثاني

علم البايوميكانيك

ما هو البايوميكانيك

وهو العلم الذي يهتم بدراسة الحركات كوظيفة والوضع التشريحي كبنية وميكانيكة الاداء ، ويمكن تعريفه بانه العلم الذي يهتم بدراسة الحركة تحت الشروط التشريحية والميكانيكية للنظام العضلي والهيكل العظمي ، ويتكون مصطلح البايوميكانيك (Biomechanics) من مقطعين يونانيين الأول (Bio) وهو مختصر (Biology) ويعني الحياة أي الجانب العضوي الذي له التأثير المباشر في الحركة والثاني (Mechanic) أي الجانب الميكانيكي في الاداء، ويصطلح عليه أيضا (الميكانيكا الحيوية).

لعلم البايوميكانيك أهمية كبيرة في مجال علوم الرياضة فقد ساهم في:

1. الارتقاء بمستوى الإنجاز
2. فهم اشكال الحركة من حيث تقسيمها الهندسي والزماني
3. تعريف المدرب بالعضلات المساهمة في الكرة وطريقة تدريبها
4. إعطاء تغذية راجعة (تصحيحية) للاعبين
5. تشخيص أسباب الإصابات وتقديم بعض الوسائل العلاجية المناسبة.

اقسام البايوميكانيك

اولاً) **البايوديناميك (**Biodynamic): ويهتم بالحركة ويقسم بدوره الى

1- **البايوكينماتيك (Biokinematic)**: ويهتم بوصـــف الحركة ظاهريا مثل (سرعة الجسم وتعجيله وزمنه ومسافته او ازاحته .... وهكذا)

2- **البايوكيناتيك (Biokinetic)**: ويهتم بوصـف الحركة من حيث تأثير القوة عليها ومنها مثل (الكتلة ، القوة ، الوزن ، القدرة ، الطاقة ، الدفع ، الشغل .....وغيرها)

ثانياً) **البايوستاتيك** (Biostatic): ويهتم بالسكون

الفصل الاول

الكينماتيك (Kinematics)

يهتم هذا العلم بوصـف الحركة وصـفا مجردا دون البحث في مسـبباتها وهو يصف حركة الأجسام من جوانب الزمن والإزاحة والمسافة والزوايا والسرعة والتعجيل ، ويتكون من قسمين :

1- الكينماتيك الخطي
2- الكينماتيك الزاوي

المبحث الاول

الكينماتيك الخطي

وهو القسم الأول من الكينماتيك ويهتم بوصف الحركة المستقيمة والمنحنية وصفا مجردا في وحدة (الزمن) دون البحث في مسبباتها ومن مجالاته (المسافة والازاحة والسرعة والتعجيل) فضلا عن المقذوفات.

اولاً) المسافة والازاحة

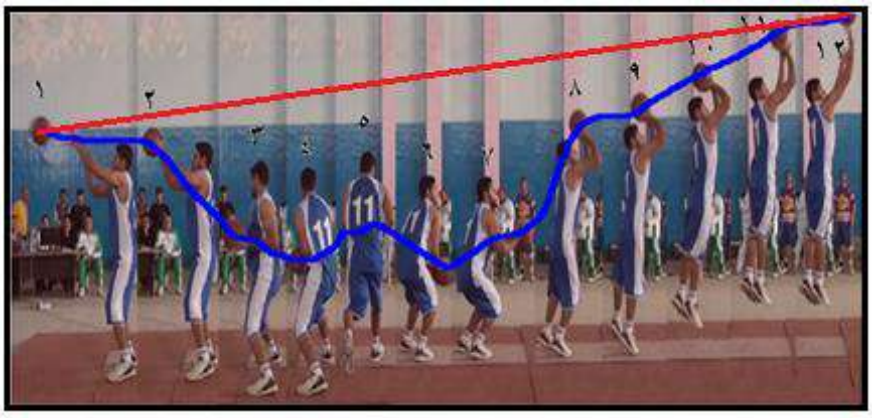
المصطلح الانكليزي للمسافة (Distance) والإزاحة (Displacement) ، وتعرف المسافة بأنها الفراغ المتاح بين نقطتين اما الإزاحة فتعرف بأنها خط مستقيم بين نقطتين ، ونرى بان المسافة والإزاحة متساوية عند ركض مستقيم طوله (100 مترا) والأمر يختلف في ركض 200 متر فاننا نركض 200 متر على مقطعين احدهما منحني والاخر مستقيم وبذلك فاننا نركض مسافة قدرها 200 متر اما الإزاحة فهو المستقيم الواصل بين خط بدء السباق وخط انتهاء السباق

والازاحة في ركض 400 متر هي صفر لان العداء يبدأ من نقطة البداية وينتهي اليها.

هناك فرقين مهمين بين المسافة والازاحة :

1- المسافة في اكثر الأحيان أطول من الازاحة وفي بعض الحالات النادرة متساوية مع الازاحة

2- المسافة **كمية قياسية** (يكفي ذكر مقدارها) اما الازاحة فهي **كمية متجهة** (لايكفي ذكر مقدارها فقط وانما يجب ذكر الا تجاه ايضاً ، فقد يكون الاتجاه نحو الأعلى او الى اليمين او بزاوية معينة او في النظام الاحداثي بالسالب والموجب).



الشكل (2-1) يوضح مسار كرة السلة (المسافة والازاحة) في صور متسلسلة للتصويب من الدوران في كرة السلة



الشكل (2-2) يوضح مسار نقطة على السرج في صور متسلسلة لاجتياز الحاجز الفردي في الفروسية

ونستفاد من الازاحة في:

1- تحديد الزوايا (مثل زاوية الانطلاق او زاوية اتجاه المحصلة .....وغيرهما)
2- تحديد قيمة المحصلة الناتجة من المركبات الافقية او العمودية
3- إيجاد اقصى ارتفاع او اقصى ابتعاد.
4- إيجاد السرعة المتجهة وهي السرعة اللحظية

مثال : جد طول الازاحة واتجاهها لقياســـات ســـباق 200 متر ، اذا علمت ان الملعب مبني على مستطيل طوله (90 متر) وعرضه (70 متر).

وفقا لقانون فيثاغورس وكما يأتي:

المستطيل طوله (90 متر) وعرضه (70 متر) وهنا الوتر هو الازاحة

(الوتر)^2 = (الطول)^2 + (العرض)^2

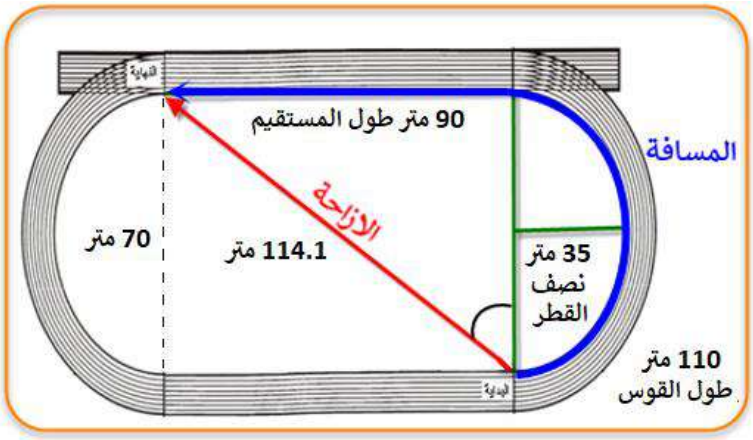
نرفع التربيع عن الازاحة

الإزاحة (الوتر)= $\sqrt{\text{(الطول)}^2 + \text{(العرض)}^2}$

الإزاحة = $\sqrt{90^{\,2} + 70^{\,2}}$

الإزاحة = $\sqrt{8100 + 4900}$

الإزاحة = 114.01 متر



شكل (2-3) يوضح الازاحة والمسافة في سباق 200 متر

ويمكن إيجاد الاتجاه بشكل زاوية عند التقاء الضلعين في نقطة بداية السباق الى نقطة انتهاء السباق ، والضلعين هما ضلع العرض وضلع الوتر.

$$\text{جتا هـ} = \frac{\text{المجاور (70 متر)}}{\text{الوتر (114.01)}} \qquad \text{جتا هـ} = 0.612$$

ومن الجداول نجد قيمة جيب التمام هي (52.26 درجة) مع الخط العمودي أي اذا ركض شخص ما من بداية 200 متر الى خطة النهاية بشكل مستقيم فانه سيركض بهذه الزاوية ، وستكون الزاوية (45) درجة اذا كان المستطيل مربعاً.

الظل	الجيب تمام	الجيب	الدرجة	الظل	الجيب تمام	الجيب	الدرجة	الظل	الجيب تمام	الجيب	الدرجة
tg α	cos α	sin α	α°	tg α	cos α	sin α	α°	tg α	cos α	sin α	α°
∞	0.0000	1.0000	90°	1.0000	0.7071	0.7071	45°	0.0000	1.0000	0.0000	0°
-57.2900	-0.0175	0.9998	91°	1.0355	0.6947	0.7193	46°	0.0175	0.9998	0.0175	1°
-28.6363	-0.0349	0.9994	92°	1.0724	0.6820	0.7314	47°	0.0349	0.9994	0.0349	2°
-19.0811	-0.0523	0.9986	93°	1.1106	0.6691	0.7431	48°	0.0524	0.9986	0.0523	3°
-14.3007	-0.0698	0.9976	94°	1.1504	0.6561	0.7547	49°	0.0699	0.9976	0.0698	4°
-11.4301	-0.0872	0.9962	95°	1.1918	0.6428	0.7660	50°	0.0875	0.9962	0.0872	5°
-9.5144	-0.1045	0.9945	96°	1.2349	0.6293	0.7771	51°	0.1051	0.9945	0.1045	6°
-8.1443	-0.1219	0.9925	97°	1.2799	0.6157	0.7880	52°	0.1228	0.9925	0.1219	7°
-7.1154	-0.1392	0.9903	98°	1.3270	0.6018	0.7986	53°	0.1405	0.9903	0.1392	8°
-6.3138	-0.1564	0.9877	99°	1.3764	0.5878	0.8090	54°	0.1584	0.9877	0.1564	9°
-5.6713	-0.1736	0.9848	100°	1.4281	0.5736	0.8192	55°	0.1763	0.9848	0.1736	10°
-5.1446	-0.1908	0.9816	101°	1.4826	0.5592	0.8290	56°	0.1944	0.9816	0.1908	11°
-4.7046	-0.2079	0.9781	102°	1.5399	0.5446	0.8387	57°	0.2126	0.9781	0.2079	12°
-4.3315	-0.2250	0.9744	103°	1.6003	0.5299	0.8480	58°	0.2309	0.9744	0.2250	13°
-4.0108	-0.2419	0.9703	104°	1.6643	0.5150	0.8572	59°	0.2493	0.9703	0.2419	14°
-3.7321	-0.2588	0.9659	105°	1.7321	0.5000	0.8660	60°	0.2679	0.9659	0.2588	15°

شكل (2-4) يوضح كيفية إيجاد قيمة الزاوية

ثانياً) السرعة

تعرف السرعة ميكانيكياً بانها المعدل الزمني للمسافة المقطوعة ، وتقاس بالمتر لكل ثانية ، ويمكن اعتبارها كمية قياسيه اذا كانت مع المسافة (Distance) وتسمى بالسرعة ويجب ذكر مقدارها و اتجاهها عندما تكون مع الازاحة (Displacement) وتسمى بالسرعة المتجهة او الانطلاق.

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} \qquad \text{(السرعة المتجهة) او الانطلاق} = \frac{\text{الازاحة}}{\text{الزمن}}$$

ان استعمال كلمة السرعة التي نتناولها دائما في المجال الرياضي هي ترجمة لكلمة (Speed) ويعبر هذا المصطلح عن كمية السرعة اما السرعة المتجهة

(Velocity) فتمثل السرعة التي يتحرك بها الجسم إضافة الى اتجاهها ، وتعني السرعة المتجهة تغير الإزاحة في وحدة الزمن. وهناك مصطلحات مهمة تستخدم في السرعة مثل السرعة الانية (اللحظية) ومتوسط السرعة (معدل السرعة) والسرعة الابتدائية والسرعة النهائية والسرعة الأولى والسرعة الثانية ، وغيرها.

مثال: في مسابقة (100متر) يقطع عداء (50 متر) الاولى بزمن قدره (6.12 ثانية) و (50 متر) الثانية بزمن قدره (5.18 ثانية) ، احسب معدل سرعته في كل (50متر) ومعدل سرعة ركض (100 متر).

$$\text{السرعة الأولى} = \frac{50}{6.12} \quad \text{السرعة الأولى} = 8.17 \text{ م\ثا}$$

$$\text{السرعة الثانية} = \frac{50}{5.18} \quad \text{السرعة الثانية} = 9.65 \text{ م\ثا}$$

$$\text{معدل السرعة} = \frac{\text{السرعة الاولى} + \text{السرعة الثانية}}{2}$$

$$\text{معدل السرعة} = \frac{9.65 + 8.17}{2} \qquad \text{معدل السرعة} = \frac{17.82}{2}$$

معدل السرعة = 8.91 م\ثا

التمثيل البياني للسرعة

ونعني بالتمثيل البياني للسرعة هو ترجمة قيم السرعة الى رسومات تصلح للمقارنة بالعين المجردة بشـــكل افضـــل عند المقارنة بين العداء ومســـافاته المختلفة او بين العداء مع عداء اخر ، ويتم تمثيل المحور الافقي (س) للزمن او للنقاط او للمســـافات والمحور العمودي (ص) لقيم السرعة ، وكما موضح في المثال ادناه:

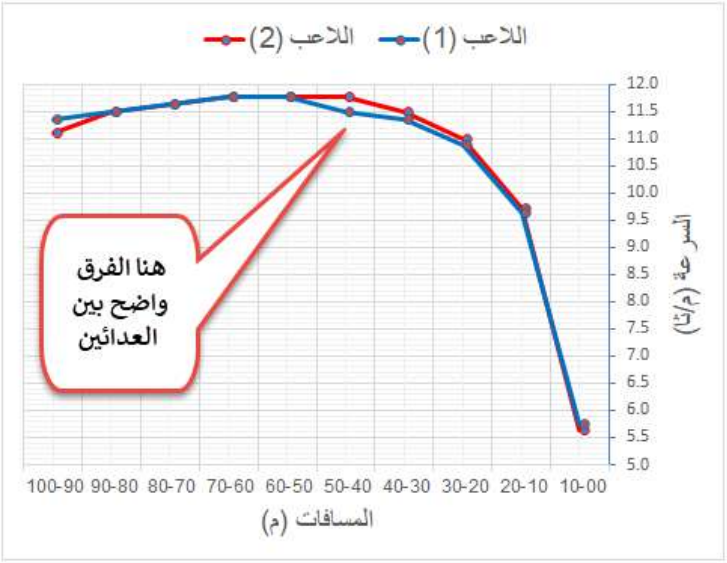
مثال :الجدول ادناه لعدائين في عدو 100 متر ، المطلوب رسم بياني للمقارنة بينهما

جدول (2-1) يبين المقارنة في الزمن ومعدل السرعة بين عدائين في عدو 100 متر

المسافة	أجزاء المسافة	الزمن لكل (10متر)				السرعة (م/ثا)	
		العداء (1)		العداء (2)		العداء (1)	العداء (2)
		زمن الجزء	زمن تراكمي	زمن الجزء	زمن تراكمي		
10-00	10	1.74	1.74	1.74	1.74	5.75	5.75
20-10	10	1.04	**2.78**	1.03	**2.77**	9.62	9.71
30-20	10	0.92	3.70	0.91	3.68	10.87	10.99
40-30	10	0.88	4.58	0.87	4.55	11.36	11.49
50-40	10	0.87	5.45	0.85	5.40	11.49	11.76
60-50	10	0.85	6.30	0.85	6.25	11.76	11.76
70-60	10	0.85	7.15	0.85	7.10	11.76	11.76
80-70	10	0.86	8.01	0.86	7.96	11.63	11.63
90-80	10	0.87	8.88	0.87	8.83	11.49	11.49
100-90	10	0.88	**9.76**	0.90	**9.73**	11.36	11.11

يتضح من الجدول بان العدائين يمتلكان السرعة نفسها في اول (10 امتار) من السباق ، اما في (10 أمتار) الثانية (باللون الازرق) فان العداء الثاني يتفوق على الأول بفارق زمني قليل قدره (0.02ثانية) في المسافة (20-30متر) لذا نجد سرعته افضل ، مرحلة تزايد السرعة للعداء الأول ينتهي في المسافة (60متر) ويحافظ على سرعته هذه حتى المسافة (70متر) (باللون الأخضر) وبعدها تنخفض سرعته ، ان ثبات السرعة القصوى يعني قابلية العداء في الاحتفاظ بسرعته وهي مرحلة مطاولة السرعة القصوى وبعدها تنخفض السرعة وكان العداء الثاني افضل من الأول في هذا العنصر ، كما يلاحظ

بان العداء الثاني قد وصل الى مسافة (70 متر) بزمن اقل بفارق قدره (7.15-7.10=0.05 ثانية) ، وينتهي السباق بتفوق العداء الثاني بزمن اقل من العداء الأول.



شكل (2-5) يوضح التمثيل البياني لسرعة عدائين

طول وتردد الخطوة او الضربة

في مجال الاركاض نحسب عدد الخطوات على طول السباق لايجاد السرعة وكذلك نحسب عدد ضربات الذراع (الدورة الكاملة) في السباحة ، وهنا يظهر لدينا مصطلحين وهما معدل طول الخطوة (او الضربة) او معدل تردد الخطوة (او الضربة) ، ولتوضيح كيفية حساب ، من المعروف ان قانون السرعة هي:

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

يكتب هذا القانون

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{1} \times \frac{1}{\text{الزمن}}$$

فلو عوضنا بدلاً من الرقم (1) بعدد الخطوات فاننا نصل الى الاتي:

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{عدد الخطوات}} \times \frac{\text{عدد الخطوات}}{\text{الزمن}}$$

حيث ان قانون معدل طول الخطوة هو معدل طول الخطوة= المسافة / عدد الخطوات

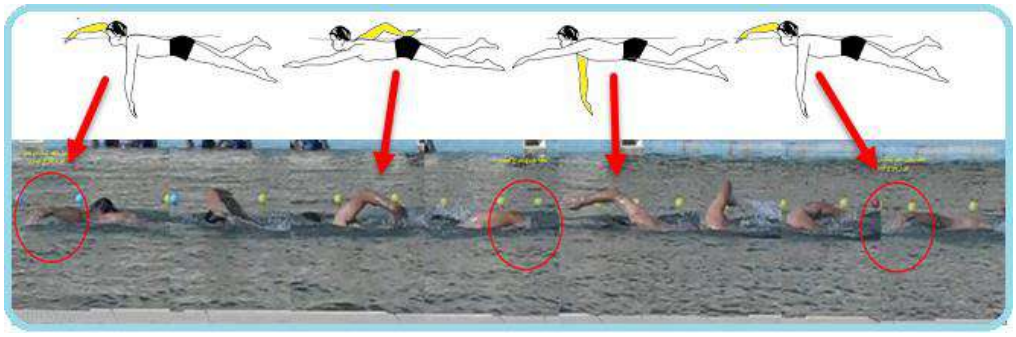
حيث ان قانون معدل تردد الخطوة هو معدل تردد الخطوة= عدد الخطوات / الزمن

وبذلك فان معدل السرعة يمكن حسابها اذا توفرت كل من معدلي طول وتردد الخطوات وذلك من خلال:

معدل السرعة = معدل طول الخطوة × معدل تردد الخطوة



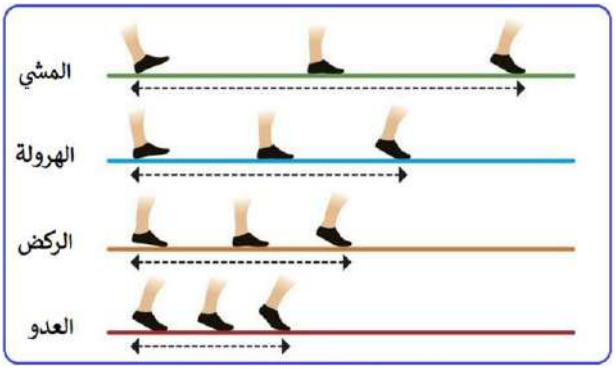
شكل (2-6) يوضح الخطوة الواحدة من لحظة ترك قدم اليسار الى لحظ تماس القدم اليمين



شكل (2-7) يوضح الدورة الواحدة للذراع اليسرى

في السباحة الحرة يحسبون دورة الذراع الواحدة من لحظة دخول الكف اليمين مثلا لحين تكملة دورتها بخروجها ودخولها مرة أخرى.

في الساحة والميدان يحسبون طول الخطوة من لحظة وضع القدم (الكعب او المشط) اليمين مثلاً الى لحظة وضع (الكعب او المشط) اليسار او بالعكس أي (اليسار الى اليمين) ، وهذا يعني ان القدم بكاملها موجودة لمرة واحدة في كل خطوة (من الكعب الى الكعب) او (من المشط الى المشط) ، وضع القدم (اليمين مثلاً) اذا كانت على المشط تعني انتهاء المرحلة السابقة (ويمكننا حساب مرحلة الطيران بلحظ قبل التماس) وبدء مرحلة ثانية لحساب فترة التماس ثم الطيران وهكذا وفي بعض الفعاليات نضع الكعب أولا ثم المشط وفي غيرها يكون بالعكس.



شكل (2-8) يوضح وضعيات القدم اثناء التحرك بسرعات مختلفة

$$\text{معدل طول الخطوة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{عدد الخطوات}} \qquad \text{معدل طول الخطوة} = \frac{100}{45}$$

معدل طول الخطوة= 2.22 متر\خطوة أي ان معدل طول الخطوة على طول السباق هو مترين وأثنين وعشرين سنتيمتر

$$\text{معدل تردد الخطوة} = \frac{\text{عدد الخطوات}}{\text{الزمن}} \qquad \text{معدل تردد الخطوة} = \frac{45}{10}$$

معدل تردد الخطوة=4.50 خطوة\ثانية أي ان اللاعب يقطع (4) خطوات ونصف الخطوة في كل ثانية.

أما معدل السرعة فيتم حسابه على الشكل الاتي:

$$\text{معدل السرعة} = 2.22 \frac{\text{متر}}{\text{خطوة}} \times 4.50 \frac{\text{خطوة}}{\text{ثانية}} = 10 \text{ م\ثا}$$

ربما تظهر اختلافات بسيطة جدا تعود الى التجزئة في بعض الارقام

ويحسب زمن الخطوة من لحظة الارتكاز إلى لحظة قبل التماس للخطوة القادمة (زمن الارتكاز + زمن الطيران) أما طول الخطوة فيجب ان يتزامن مع إجراءات حساب الزمن فيمكن حسابه من مشط قدم اليمين إلى مشط القدم اليسار) ، وفي حسابات الطول والتردد يحدث في الميدان عند خط النهاية ان لا تكتمل خطوة أي ان الخطوة تكتمل بعد خط النهاية فيترك معالجة ذلك إلى المحلل مع الأخذ بنظر الاعتبار المسافة بعد خط النهاية وزمن الانجاز .

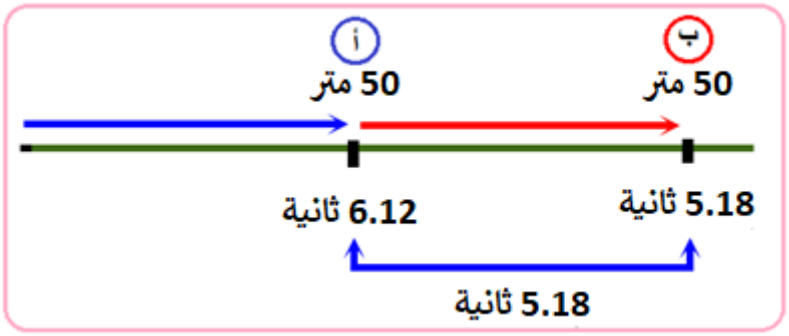
جدول (2-2) يبين انجاز عدو 100 متر إناث بطولة برلين 2009

المسافات	الإنجاز (10.73) Fraser Shelly-Ann			الانجاز (11.05) Sturrup Chandra		
	معدل طول الخطوة (م/خطوة)	معدل تردد الخطوة (خطوة/ثا)	معدل السرعة	معدل طول الخطوة (م/خطوة)	معدل تردد الخطوة (خطوة/ثا)	معدل السرعة
0-20	1.59	4.15	6.60	1.51	4.26	6.43
20-40	2.09	4.91	10.26	1.99	5.03	10.01
40-60	2.19	4.82	10.56	2.08	4.90	10.19
60-80	2.18	4.86	10.59	2.08	4.93	10.25
80-100	2.20	4.65	10.23	2.17	4.54	9.85

ثالثاً) التعجيل

وهو معدل تغير السرعة بالنسبة الى الزمن ويوضح مقدار التسارع او التباطء في سرعة الحركة وفقاً للزمن

مثال: في مســـابقة (100متر) يقطع عداء (50 متر) الاولى بزمن قدره (6.12 ثانية) و (50 متر) الثانية بزمن قدره (5.18 ثانية) ، ولقد حدث هذا التغير في السرـــعة بزمن قدره (5.18ثانية) احسب التعجيل.



شكل (2-9) يوضح سرعة مرور العداء من موقعين

مثلما تم حسابه سابقا فان : معدل سرعة مرور العداء من النقطة (أ) هي (8.17 م/ثا)

معدل سرعة مرور العداء من النقطة (ب) هي (9.65م/ثا)

الزمن الذي حدث فيه التغير في السرعة (5.18ثانية)

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{السرعة الثانية – السرعة الأولى}}{\text{الزمن}}$$

$$\text{التعجيل} = \frac{8.17 - 9.65}{5.18} \quad \text{التعجيل} = \frac{1.48}{5.18} \quad \text{التعجيل} = + 0.29 \text{ م/ثا}^2$$

ويلاحظ من علامة الموجب (+) بان اللاعب كان في (50متر) الثانية افضل من (50متر) الأولى أي ان معدل سرعته في تزايد ، اما اذا كانت العلامة بالسالب فهذا يعني ان معدل سرعته في تناقص، ويبين الجدول الاتي ذلك:

جدول (2-3) يبين مقارنة زمن ومعدل السرعة والتعجيل بين لاعبين في عدو 100 متر

المسافة	أجزاء المسافة	الزمن لكل (10متر)	السرعة (م/ثا)	التعجيل (م/ثا^2)
10-00	10	1.74	5.75	
20-10	10	1.04	9.62	3.72
30-20	10	0.92	10.87	1.36
40-30	10	0.88	11.36	0.56
50-40	10	0.87	11.49	0.15
60-50	10	0.85	11.76	0.32
70-60	10	0.85	11.76	0.00
80-70	10	0.86	11.63	0.15-
90-80	10	0.87	11.49	0.16-
100-90	10	0.88	11.36	0.15-

كيف تم حساب التعجيل ؟

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{السرعة الثانية للاعب الأول (9.62) – السرعة الأولى لنفس اللاعب (5.75)}}{\text{الزمن الثاني (1.04)}}$$

التعجيل = + 3.72 م/ثا^2

ملاحظات في التعجيل

1. القيم التي مقدارها (بالموجب) تعني ان السرعة الثانية اكبر من السرعة الأولى (تعجيل تزايدي)
2. القيم التي مقدارها (صفر) تعني ان السرعة الثانية تساوي السرعة الأولى وهذه خاصية السرعة الثابتة.
3. القيم التي مقدارها (بالسالب) تعني ان السرعة الثانية اقل من السرعة الأولى (تعجيل تناقصي).

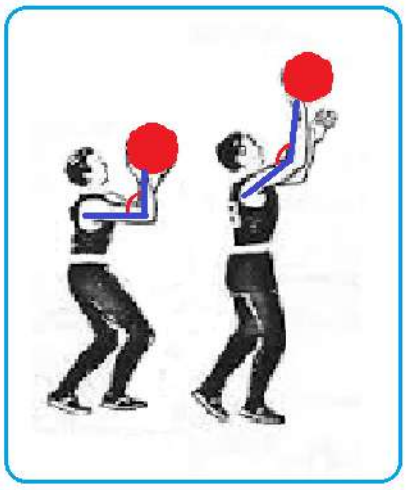
المبحث الثاني

الكينماتيك الزاوي

وهو القســم الثاني من الكينماتيك ويهتم بوصــف الحركة الدائرية والزوايا في وحدة (الزمن) وصــفا مجردا دون البحث في مســبباتها ومن مجالاته (الازاحة الزاوية والسرعة الزاوية والسرعة المحيطية والتعجيل الزاوي)

اولاً) الازاحة الزاوية

الازاحة الزاوية هي الفرق بين الزاوية نفســها في وضــعين مختلفين ، فمثلا اذا كانت زاوية المرفق قبل رمي كرة الســلة الى الســلة هي (90 درجة) وبعد رمي الكرة أصــبحت هذه الزاوية (160 درجة) مما يعني ان الفرق بين الزاويتين هو (70 درجة) يسـمى هذا الفرق بالازاحة الزاوية او التغير في قيمة الزاوية ، وبما ان هذا التغير يحدث في وحدة الزمن وفرضـا حدث خلال (0.25 ثانية) فبقسـمة الفرق على الزمن نحصـل على السرعة الزاوية.



شكل (2-10) يوضح التصويب بكرة السلة

ثانياً) السرعة الزاوية

وهي النسبة بين كمية التحرك الزاوي ووحدة الزمن ولها علاقة بالسرعة على محيط الدائرة (السرعة المحيطية) والتي هذه الأخيرة بوحدة (م/ثا) اما وحدة السرعة الزاوية فتعطى بعدة اشكال منها (درجة/ثانية).

$$\text{السرعة الزاوية} = \frac{\text{الزاوية الثانية} - \text{الزاوية الأولى}}{\text{الزمن}} \quad \ldots\ldots (1)$$

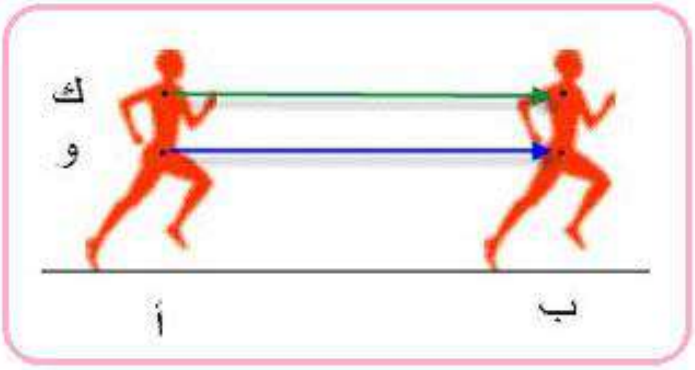
$$\text{السرعة الزاوية} = \frac{160 - 90}{0.45}$$

السرعة الزاوية = 155.56 درجة/ثانية ، وكلما كانت هذه السرعة كبيرة كلما دلت على ان فتح زاوية المرفق كانت سريعة

جميع الحركات التي تؤدى على محور وهمي أو حقيقي، خارجي أو داخلي فإنها حركات دائرية ، والحركات الدائرية مشتقة من كلمة دائرة فهي اذن تمتلك مصطلحين هما مركز الدائرة ونصف القطر.

إن لأية دائرة بداية ونهاية ، ومن المعروف أن زاوية أية دائرة هي (360 درجة) تبدأ من (الصفر) بعكس عقرب الساعة وتنتهي في (360 درجة).

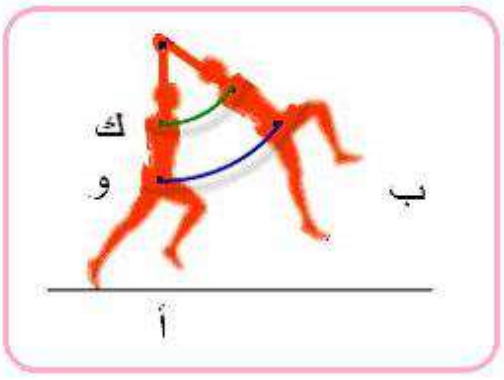
النقطة التي تتحرك على محيط الدائرة تمتلك سرعة تسمى بالسرعة المحيطية أو الدائرية ووحدتها تماثل وحدة السرعة الخطية (متر\ثانية) ، ولغرض توضيح السرعة المحيطية ومقارنتها بالسرعة الخطية.



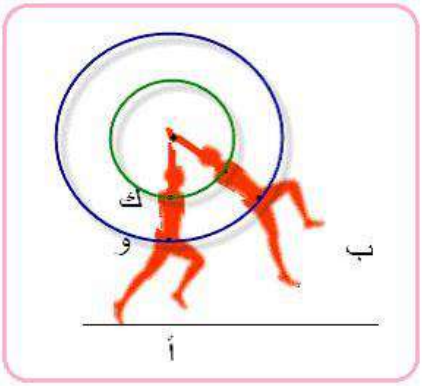
شكل (2-11) يوضح المسار الخطي لمفصل الورك والكتف في الركض

لو تحرك لاعب من نقطة (أ) إلى نقطة (ب) وراقبنا نقطتين في جســـمه وهما نقطة الورك (و) ونقطة الكتف (ك)، فان المســـافة المقطوعة لكلتا النقطتين تكون متســـاوية وبما أن النقطتين تحركتا في الوحدة الزمنية نفســـها فإن سرعة النقطتين متساوية، أي إن سرعة نقطة الورك تساوي سرعة نقطة الكتف.

أما إذا راقبنا هاتين النقطتين على اللاعب نفســـه وهو يؤدي المرجحة على جهاز العقلة وكما في الشـــكل التالي ، فاننا نلاحظ اختلاف في مدى حركة النقطتين فالمدى الحركي لنقطة الورك اكبر من المدى الحركي لنقطة الكتف أو بصـــياغة أخرى فان المســـافة التي تتحركها نقطة الورك اكبر من المســـافة التي تتحركها نقطة الكتف، قارن الاشكال.



شكل (2-12) يوضح المسار الدائري لمفصل الورك والكتف على العقلة

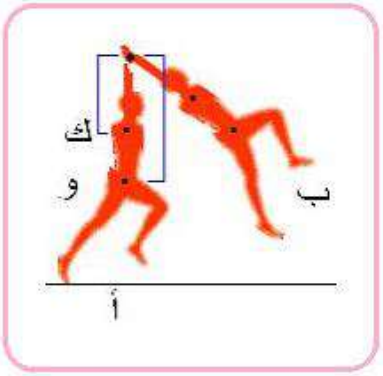


شكل (2-13) يوضح الدوائر التي ترسمها نقطة الورك والكتف

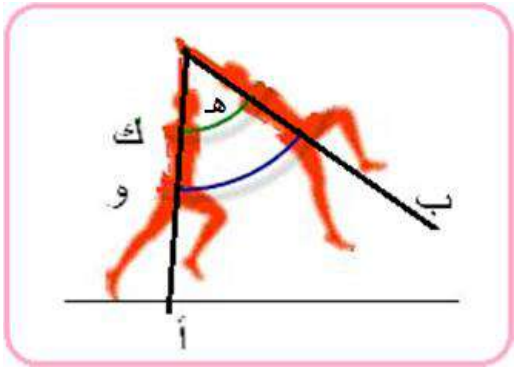
فلو تحركت نقطة (و) من منطقة (أ) ووصلت إلى منطقة (ب) فإنها ستكون قطعت مسافة اكبر من مسافة نقطة (ك)، ورغم أن النقطتين تحركتا في الوحدة الزمنية نفسها الا ان سرعة النقطة (و) لا تساوي سرعة النقطة (ك)، **وهذا هو الاختلاف الثاني بين الحركات الخطية والحركات الدائرية، فالاختلاف الأول وجود المحور. اما الاختلاف الثاني فهو نصف القطر**

إن الفروق التي يمكن ملاحظتها بين النقطتين (و) و (ك) يمكن إيجازها بما يأتي

1- مدى حركة (و) اكبر من مدى حركة (ك)
2- بعد نقطة (و) اكبر من بعد نقطة (ك)
3- سرعة نقطة (و) على المحيط اكبر من سرعة نقطة (ك) على المحيط بسبب طول المسافة



شكل (2-14) يوضح اختلاف ابتعاد لمفصل الورك والكتف من محور العقلة



شكل (2-15) يوضح الزاوية للمفصلين الورك والكتف

وهناك عاملان مشتركين بين النقطتين وهما أنهما تتحركان في الزاوية نفسها (هـ) ، وفي الزمن نفسه ، ولكنهما مختلفان في نصف القطر لان نصف قطر الورك أطول من نصف قطر الكتف .

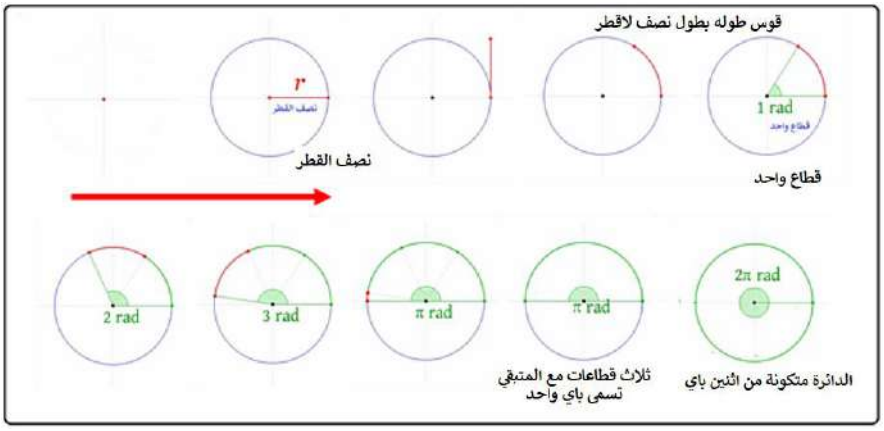
والتساؤل المهم ، هل يمكن حساب سرعة هاتين النقطتين ؟ الجواب: نعم ، ولكن استخدام القانون السابق (السرعة الزاوية) لا يكون صحيحا في إجراء المقارنة بين سرعتي النقطتين لأنهما يحدثان على نفس الزاوية وفي الزمن نفسه أي أن سرعتهما

الزاوية هي نفسها وبوحدة (درجة\ثانية) ، فمن الأفضل الاستفادة من الاختلافات بين النقطتين ، أي أن نستخدم (نصف القطر) أي البعد عن المحور (عارضة العقلة). سنأتي لشرح ذلك لاحقاً.

الزاوية نصف القطرية او الراديان او التقدير الدائري (Radian)

تعرف بانها الزاوية المركزية في مركز الدائرة تحدد قوسا طوله يساوي طول نصف القطر الدائرة ، والراديان الواحد تساوي (180 مقسوما على النسبة الثابتة -π- والتي تبلغ تقريبا 3.143) ، ان المساحة المحصورة بين ضلعي نصف القطر وطول القوس تسمى بالقطاع ، ونلاحظ وجود عدد (6.28) قطاعا في الدائرة الواحدة، أي إذا اخذنا نصف قطر معين ووضعنا بقدر ذلك مسافات على محيط الدائرة فان عدد المقاطع ستساوي (6) مع بقاء مقطع صغير يتم تقسيمه على المقاطع الاخرى لتصبح (6.28) مقطع او قطاع، وبما ان الدائرة الكاملة عبارة عن (360 درجة) فعند قسمة (360 درجة على 6.28 قطاعاً) وعند قياس الزاوية في كل مقطع سنجد انها تساوي (57.324 درجة) وهي قيمة زاوية القطاع ، وقانونه :

$$\text{الزاوية نصف القطرية} = \frac{\text{طول القوس}}{\text{نصف القطر}} \quad \ldots\ldots (2)$$



شكل (2-16) يوضح الزاوية نصف القطرية والقطاع والنسبة الثابتة

ويفيدنا القانون السـابق في إيجاد قيمة الزاوية المحصـورة بين طول قوس ونصـف القطر او إيجاد طول قوس او نصـف قطر عندما يكون احد هذين الأخيرين مجهولا ، كما تفيدنا هذه الزاوية في المقارنة بين سرعة مفصل الكتف وسرعة مفصل الورك ، لأنها تستخدم نصف القطر ومثلما عرفنا سابقاً بان نصف القطر هو عنصر الاختلاف بين حركة مفاصل أجزاء الجسم او مراكز ثقلها.

السرعة المحيطية (المماسية)

السرعة المحيطية وهي سرعة جسم معين على محيط دائرة ووحدتها (م/ثا) او (سم/ثا) وتسمى بالسرعة المماسية لأنها تعتمد على نصف القطر وهي سرعة الأداة باتجاه الدوران او باتجاه انطلاق الأداة وتكون عمودية على نصف القطر المتجه نحو المركز وبذلك فانها تمثل المركبة الافقية للسرعة ، وقانونه.

السرعة المحيطية (المماسية) = السرعة الزاوية × نصف القطر

ومن خلال تحليلنا للقانون نجد ان هناك علاقة طردية بين السرعة المحيطية والسرعة الزاوية وبينها وبين نصف القطر أي كلما زاد نصف القطر زادت السرعة المحيطية ولذلك يفضل ان يكون رامي القرص من اللاعبين ذوي الاذرع الطويلة ، ويجب ان نفهم جيدا بان وحدة السرعة الزاوية الموجودة في القانون المرقم (2) هي (1\ثا) وليست (درجة\ثا) ومن ذلك نستنتج ما يأتي:

1- إن السرعة المحيطية تتناسب طرديا مع نصف القطر بثبات السرعة الزاوية
2- إن السرعة المحيطية تتناسب طرديا مع السرعة الزاوية بثبات نصف القطر

$$\text{السرعة المحيطية} = \frac{\text{الزاوية}}{\text{الزمن}} \times \text{نصف القطر}$$

$$\text{السرعة المحيطية} = \frac{\text{درجة}}{\text{ثانية}} \times \text{متر}$$

بما ان السرعة المحيطية وحدتها خطية أي (م/ثا) اذن يجب التخلص من وحدة الدرجة في القانون وذلك بقسمتها على 57.324 درجة وهي قيمة زاوية القطاع

$$\text{السرعة المحيطية} = \frac{\text{الزاوية}}{57.324} \times \text{نصف القطر}$$

$$\text{السرعة المحيطية} = \frac{\text{درجة}}{\text{ثانية}} \times \text{متر}$$

$$\text{السرعة المحيطية} = \frac{1}{\text{ثانية}} \times \text{متر}$$

$$\text{السرعة المحيطية} = \frac{\text{متر}}{\text{ثانية}}$$

بما ان السرعة المحيطية وحدتها خطية أي (م/ثا) اذن يجب التخلص من وحدة الدرجة في القانون وذلك بقسمتها على 57.324 درجة وهي قيمة زاوية القطاع

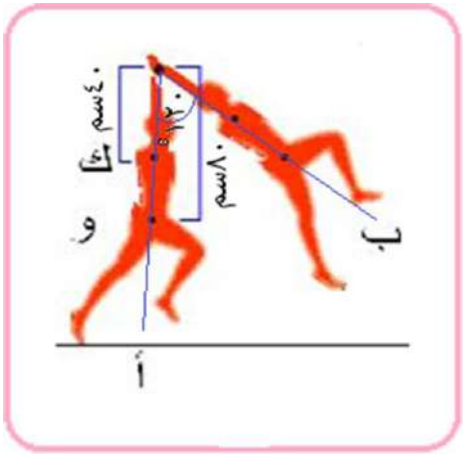
مثال : احسب السرعة المحيطية لكل من نقطة الورك (و) والكتف (ك) اذا علمت ان بعد الورك عن العقلة (مركز الدوران) أي نصف قطر الورك (80سم) و نصف قطر الكتف (40سم) ، وان الجسم انتقل من نقطة الى أخرى بزمن قدره (1 ثا) وكانت الزاوية (120 درجة).

حساب السرعة الزاوية للكتف

$$\text{السرعة الزاوية للكتف} = \frac{120}{1}$$

السرعة الزاوية للكتف = 120 د/ثا

ونفس الشيء للورك لانهما نفس الزاوية ونفس الزمن



شكل (2-17) يوضح معطيات إيجاد السرعة المحيطية

حساب السرعة المحيطية (المماسية)

السرعة المحيطية (المماسية) = السرعة الزاوية × نصف القطر

نتخلص من وحدة الدرجة في السرعة الزاوية

$$\text{السرعة الزاوية للكتف} = \frac{120 \text{ د/ثا}}{57.324 \text{ د}}$$

السرعة الزاوية للكتف = 2.1 بوحدة 1/ثا

ونفس الشيء للورك لانهما نفس الزاوية ونفس الزمن

حساب السرعة المحيطية للكتف

السرعة المحيطية = السرعة الزاوية × نصف القطر

السرعة المحيطية = 2.1 × 40

السرعة المحيطية = 84 سم/ثا

حساب السرعة المحيطية للورك

السرعة المحيطية = السرعة الزاوية × نصف القطر

السرعة المحيطية = 2.1 × 80

السرعة المحيطية = 168 سم/ثا

وهذا يعني ان المقارنة بين أجزاء الجسم بقانون السرعة الزاوية سوف لا تنقل حقيقة سرعة نقاط الجسم بسبب تساوي زاوية تحرك هذه النقاط وان استخدام قانون السرعة المحيطية يكون افضل وسببه وجود اختلاف انصاف الأقطار بين هذه الاجزاء

مثال: تحرك جســـم من نقطة (أ) إلى نقطة (ب) بزمن قدره (0.3 ثا) وقطع زاوية مقدارها (90درجة) وكان بعد هذا الجســـم عن محور الدوران (0.06 متر). احســـب المسافة التي قطعها على المحيط (طول القوس) وسرعتها.

$$\text{الزاوية نصف القطرية} = \frac{\text{طول القوس}}{\text{نصف القطر}}$$

مثلما نعلم بان الزاوية نصف القطرية هي العلاقة بين طول القوس ونصف القطر ، ومن القانون أعلاه نجد ان هناك مجهولين وهما الزاوية نصف القطرية وطول القوس ، ونعلم مسبقاً بان قيمة الزاوية نصف القطرية (زاوية القطاع) هي (57.324درجة) فيتم تقسيم قيمة الزاوية في السؤال على قيمة زاوية القطاع للتخلص من وحدة الدرجة.

$$\text{قيمة الزاوية (بوحدة القطاع)} = \frac{\text{90 (درجة)}}{\text{57.324 (درجة)}}$$

قيمة الزاوية (بوحدة القطاع) = 1.57 **بدون وحدة**

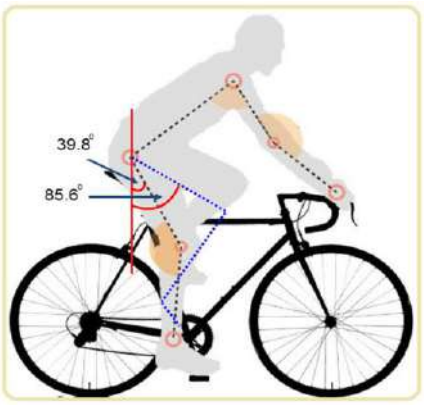
$$1.57 = \frac{\text{طول القوس}}{\text{0.06متر}} \quad \text{طول القوس} = 1.57 \times 0.06 = 0.0942 \text{ متر}$$

ولحساب السرعة

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة (طول القوس)}}{\text{الزمن}}$$

$$\text{السرعة} = \frac{0.0942}{0.3} = 0.314\text{م/ثا السرعة على محيط الدائرة}$$

مثال: من الصورة جد السرعة الزاوية للفخذ والسرعة المحيطية للركبة اذا علمت ان طول الفخذ (0.44متر) وان الزمن الذي استغرقت الحركة هو (0.56ثانية).



شكل (2-18) يوضح زوايا بعض أجزاء الجسم اثناء لقيادة الدراجة

من المهم جدا ان يتم قياس الزاوية المطلقة عند التحويل من السرعة الزاوية الى المحيطية لأننا سنتعامل مع طول الجزء وليس زاويته مع جزء اخر وتقاس هذه الزاوية مع الخط الافقي او العمودي ، ومن الصورة نجد ان اللاعب قد حرك زاوية الفخذ من (39.8 درجة) في الصورة الأولى الى (85.6 درجة) في الصورة الأخيرة.

الازاحة الزاوية للفخذ (الفرق الزاوي) = 85.6-39.8

=45.8 درجة

$$\text{السرعة الزاوية للفخذ} = \frac{45.8}{0.56}$$

السرعة الزاوية للفخذ= 81.79 (د/ثا) وهي سرعة الحركة الزاوية للفخذ

ولايجاد السرعة المحيطية لمفصل الركبة وهو على محيط الدائرة فاننا نلجأ الى ضرب القيمة اعلاها في نصف قطر الفخذ وذلك حسب القانون ونلاحظ بان وحدة البسط ستتحول الى (درجة/ثانية×متر) ، وللتخلص من وحدة الدرجة لكي تبقى السرعة المحيطية بوحدة (م/ثا) فاننا نلجأ الى قسمة البسط على قيمة زاوية القطاع والتحول من مركز الدائرة الى محيطها .

$$\text{السرعة المحيطية للركبة} = \frac{0.44\times 81.79}{57.324}$$

السرعة المحيطية للركبة= 0.63 (م/ثا) وهي سرعة تحرك مفصل الركبة على محيط دائرة وهمية مركزها مفصل الورك

او نجد طول القوس من خلال الاتي:

طول القوس = الازاحة الزاوية ÷ الزاوية نصف القطرية × طول الفخذ

0.44 × 57.324÷45.8=

0.35= متر

وبقسمة المسافة على الزمن

السرعة المحيطية للركبة = 0.35÷0.56

0.63= م/ثا

ويمكننا إيجاد السرعة المحيطية اللحظية من لعدة أجزاء.

ونجد طول القوس من خلال

(طول القوس = الازاحة الزاوية ÷ الزاوية نصف القطرية × طول الفخذ)

طول القوس =45.8÷57.324 × 0.44

طول القوس =0.35 متر

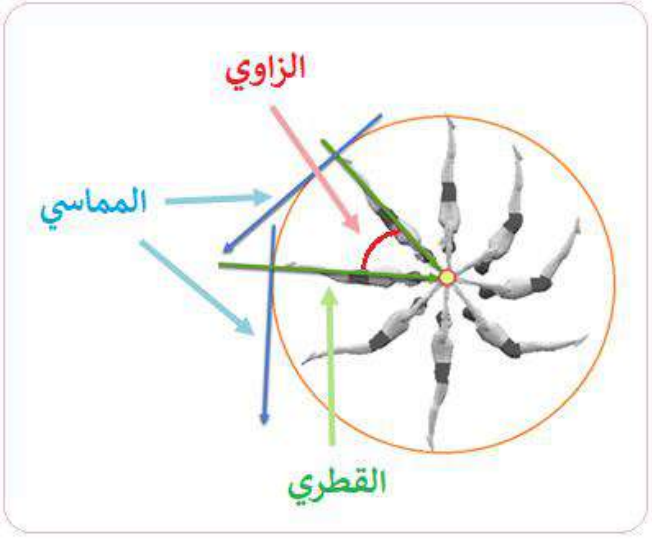
وبقسمة المسافة على الزمن

السرعة المحيطية للركبة = 0.35÷0.56

السرعة المحيطية للركبة =0.63 م/ثا

ثالثا) التعجيل الزاوي والمماسي والقطري

تتحلل السرعة في نقطة معينة على الدائرة الى مركبتين احدهما باتجاه انطلاق او دوران الأداة وتسمى بالسرعة الافقية او المماسية للدائرة ، اما المركبة الثانية فتكون عمودية تتجه نحو مركز الدائرة مع نصف القطر وتسمى بالسرعة العمودية او القطرية وبذلك فهناك قانونين للتعجيل الزاوي احدهما بالاتجاه الافقي تسمى بالتعجيل المماسي والأخر بالاتجاه العمودي وتسمى بالتعجيل العمودي او القطري ، فايجاد التعجيل في مسابقة (100 متر) هو خطي ونحسبه من قانون تغير السرعة في وحدة الزمن اما إيجاد التعجيل في منحنى ركض (200 متر) سيختلف لان السرعة على محيط الدائرة غير متجهة وتخضع لمصطلحات الدائرة نفسها واهم مصطلحين في الدائرة هما (الزاوية ونصف القطر) وعليه سيتم التوضيح بحسب القانونين.



شكل (2-19) يوضح الدورة العظمى على جهاز العقلة في لعبة الجمناستك

التعجيل الزاوي : وهو التغير في السرعة الزاوية في وحدة الزمن ولان التعجيل كمية متجهة فان حسابها على الدائرة او الزاوية تتبع طرائق أخرى.

$$\text{التعجيل الزاوي} = \frac{\text{السرعة الزاوية الثانية} - \text{السرعة الزاوية الأولى}}{\text{الزمن}}$$

اما في نظام الوحدات فان وحدة التعجيل الخطي هي (م/ثا^2) اما وحدة التعجيل الزاوي فتكون (د/ثا^2)

$$\text{التعجيل الزاوي} = \frac{\frac{\text{درجة}}{\text{ثانية}} - \frac{\text{درجة}}{\text{ثانية}}}{\frac{\text{ثانية}}{1}}$$

عند وجود علامة الطرح او الجمع نلغي احد الحدين ، وبقلب البسط والمقام

$$\text{التعجيل الزاوي} = \frac{\text{درجة}}{\text{ثانية}} \times \frac{1}{\text{ثانية}} \quad \text{أي درجة/ثا}^2$$

مثال: جد التعجيل الزاوي لمفصـــل الورك اذا علمت ان السرـــعة الزاوية البالغة (80 د/ثا) قد تغيرت الى (90 د/ثا) خلال زمن قدره (0.30ثانية).

$$\text{التعجيل الزاوي} = \frac{\text{السرعة الزاوية الثانية – السرعة الزاوية الأولى}}{\text{الزمن}}$$

$$\text{التعجيل الزاوي} = \frac{90 - 80}{0.30}$$

$$\text{التعجيل الزاوي} = \frac{10}{0.30}$$

التعجيل الزاوي =33.33 درجة/ثانية^2 وهذا التغير يدلل على ان التزايد في السرعة الزاوية مستمرة كون علامتها موجبة

التعجيل المماسي : وهو مقدار التغير في مقدار السرعة المحيطية او المماسية بالنسبة الى الزمن ونلاحظ بان هذا التعجيل لايختلف عن التعجيل الخطي الا في نقطة واحدة وهي ان السرعة تكون على محيط الدائرة ولذلك تكون العلاقة بين التغير في السرعة المحيطية نسبة الى الزمن وهذا التعجيل يمثل مقدار واتجاه السرعة وقانونه:

$$\text{التعجيل المماسي} = \frac{\text{السرعة المماسية الثانية - السرعة المماسية الأولى}}{\text{الزمن}}$$

التعجيل القطري (العمودي) : وهو مقدار التغير في السرعة على محيط دائرة بالنسبة الى نصـف القطر وليس الزمن ويدل من مصـطلحه بان فيه وحدة نصـف القطر وهي المتر او اجزائه مما يدل على ان وحدة التعجيل القطري هو نفســـه وحدة التعجيل الخطي (وهذا الموضـوع يشـبه علاقة السرعة المحيطية بالسرعة الزاوية) ولكن يتم

قياســـه بوجود نصـــف القطر ، ويتعامل التعجيل القطري مع الخط العمودي القائم على مركز الدوران والواصـــل الى محيط الدائرة وكما موضـــح في الشـــكل ، ويتم قياس السرـــعة على محيط الدائرة من خلال المماس وذلك لان الاتجاه دائم التغير على محيط الدائرة وقانونه

$$\text{التعجيل القطري} = \frac{(\text{السرعة المماسية الثانية})^2 - (\text{السرعة المماسية الاولى})^2}{\text{نصف القطر}}$$

ولقد تم تربيع المســـافة في السرـــعة لغرض التخلص من تكرار وحدة المتر وكما هو واضح عند تحليل القانون بنظام الوحدات

$$\text{التعجيل القطري} = \frac{\frac{\text{متر}^2}{\text{ثانية}^2}}{\frac{\text{متر}}{1}} \quad \text{اي} \quad \frac{\frac{\text{متر} \times \text{متر}}{\text{ثانية} \times \text{ثانية}}}{\frac{\text{متر}}{1}}$$

وبقلب المقام الى البسط

$$\text{التعجيل القطري} = \frac{\text{متر} \times \cancel{\text{متر}}}{\text{ثانية} \times \text{ثانية}} \times \frac{1}{\cancel{\text{متر}}} = \frac{\text{متر}}{\text{ثانية}^2}$$

مثال : جد التعجيل (القطري) اذا تغيرت السرعة (المحيطية) للركبة في الدراجة الثابتة كما في الأمثلة السابقة من (0.63م/ثا) الى (0.53م/ثا) وكان طول الفخذ (0.40م).

نجد من المثال اننا حتى اذا اغفلنا ذكر كلمة القطري مع التعجيل فان وجود طول الفخذ يعني اننا نتعامل مع نصـــف قطر ، كما اننا لا نجد الزمن الذي تغير فيه السرعتين وهذه دلائل على ان التعجيل المطلوب هو القطري.

$$\text{التعجيل القطري} = \frac{(\text{السرعة المماسية الثانية})^2 - (\text{السرعة المماسية الاولى})^2}{\text{نصف القطر}}$$

$$\text{التعجيل القطري} = \frac{(0.53)^2 - (0.63)^2}{0.40}$$

$$\text{التعجيل القطري} = \frac{0.40 - 0.28}{0.40}$$

$$\text{التعجيل} \frac{-0.12}{0.40} = -0.3 \text{ م/ثا}^2$$ وتدل القيمة السالبة بان السرعة على محيط الدائرة قد قلت

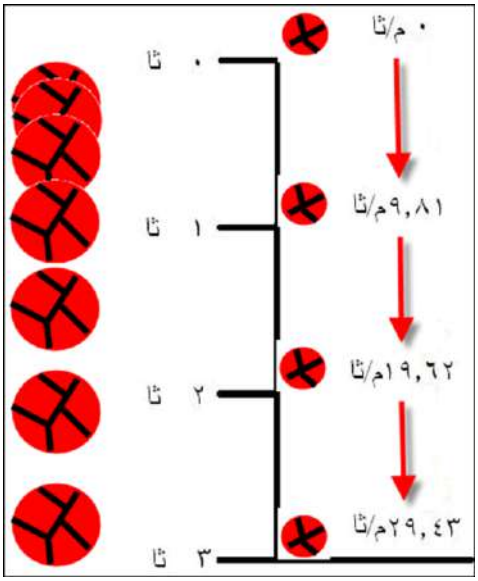
ومن خلال هذا المثال يمكننا رصـــد تحركات نهايات أجزاء الجســـم ومقارناتها مع بعضـــها لغرض معرفة أي الأجزاء تتطلب سرعة اكثر ، كما يمكننا معرفة تعجيل رأس المطرقة والقرص .

(96)

المبحث الثالث

المقذوفات في المجال الرياضي

أي أداة أو جسم يكسر اتصاله مع شيء أخر وبزاوية معينة يسمى أو تسمى مقذوف ، فمثلا لاعب الوثب الطويل يكسر اتصاله مع لوحة الارتقاء في مرحلة الارتقاء بزاوية معينة وهنا نطلق على اللاعب مصطلح مقذوف ، كذلك عند المناولة في كرة السلة او الاعداد في الكرة الطائرة فان الاداة يكسر اتصاله مع يد اللاعب فتسمى الكرة مقذوف ، ولايختلف الموضوع كثيرا عندما يطلق الحكم في بداية الشوط كرة السلة الى الاعلى فان الكرة ستنطلق إلى الأعلى بزاوية قائمة (الطيران الحر) وبسرعة معينة تتباطأ وتتوقف ثم تبدأ بالرجوع بتسارع إلى نقطة انطلاقها او نقطة اعلى من نقطة انطلاقها (السقوط الحر) وكذلك يحدث عند لاعب الترامبولين واللاعب الذي يؤدي مهارة الضرب الساحق بالكرة الطائرة والفرد الخاضع لاختبار سارجنت (الوثب العمودي) ، ان هذا العمل بشكل بسيط سيقع تحت تأثير قانون الجذب ، والذي ينص على ان الأداة أو الجسم يسقط في الفراغ بتعجيل ثابت مقداره (9.81) متر في الثانية لكل ثانية، ومثلما أسلفنا سابقا فان كرة السلة عند سقوطها من السكون فان سرعتها ستبلغ بعد ثانية واحدة (9.81)م\ثا وفي الثانية الثانية تصبح سرعتها (19.62=9.81+9.81) ، فلو استغرقت الكرة عند سقوطها زمنا قدره (3 ثانية) فانها ستصدم بالأرض بسرعة مقدارها (29.43 م\ثا). وفقا للقانون:



شكل (2-20) يوضح السقوط الحر لكرة السلة العمودي

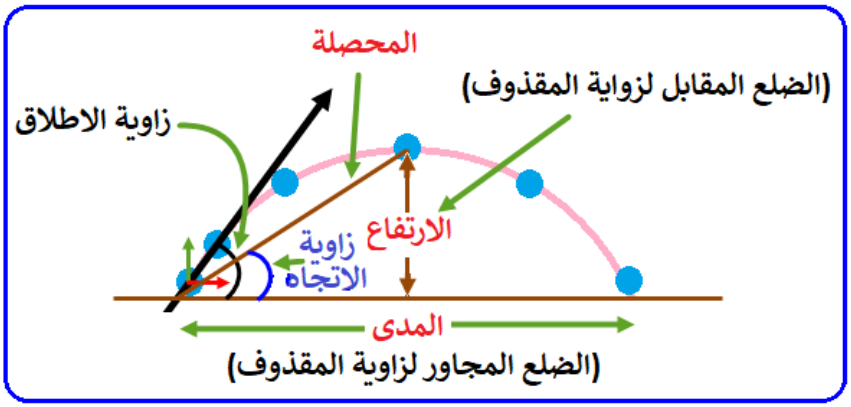
$$\text{الجذب الأرضي} = \frac{\text{السرعة}}{\text{الزمن}} \text{ او } \frac{\text{الجذب الأرضي}}{1} = \frac{\text{السرعة}}{\text{الزمن}}$$

وبضرب الوسطين في الطرفين

السرعة × 1 = الجذب × الزمن

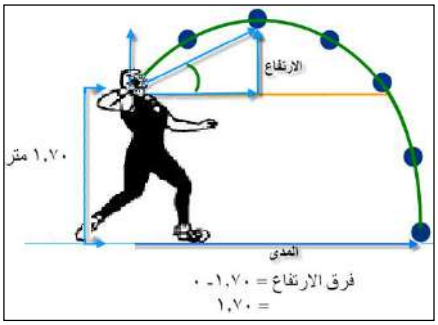
السرعة = 9.81 × 3

السرعة = 29.43 م\ثا

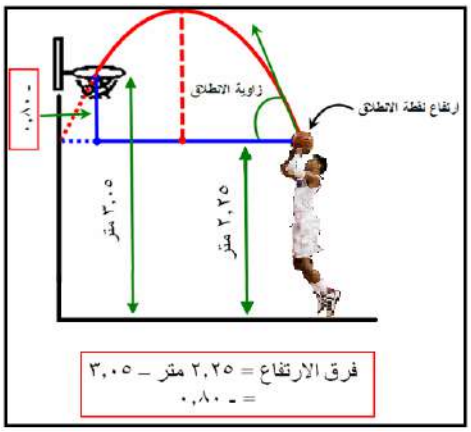


شكل (2-21) يوضح المناولة بزاوية مع الخط الافقي

والمقذوفات تحدث في شـــكلين اولهما تســـاوى نقطتي الانطلاق والهبوط والاخر تباين النقطتين ففي تباين النقطتين قد تكون نقطة الانطلاق اعلى من نقطة الهبوط مثلما يحدث في دفع الثقل او رمي الرمح او قد تكون نقطة الانطلاق ادنى من نقطة الهبوط كما يحدث في التصـويب بكرة السـلة وان فرق الارتفاع يحسـب (ارتفاع نقطة الانطلاق – ارتفاع نقطة الهبوط) لذلك فاننا نتوقع ان يكون فرق الارتفاع في الحالة الاولى (دفع الثقل) بالموجب الا انه في الحالة الثانية (التصـويب بكرة السـلة) فان فرق الارتفاع يكون بالسالب.



شكل (2-22) يوضح اطلاق الأداة من الأعلى الى الأسفل



شكل (2-23) يوضح اطلاق الأداة من الاسفل الى الاعلى

إن الهدف من حركة الأجســـام المقذوفة هو تحقيق ابعد مســـافة أفقية ، وخلال هذه المسـافة يمكن حسـاب الزمن الذي يسـتغرقه المقذوف و أقصى ارتفاع يبلغه.

أولا) المقذوفات العمودية

يتم حساب أقصى ارتفاع يصله المقذوف بدلالة السرعة من خلال القانون الأتي:

$$\text{أقصى ارتفاع} = \frac{(\text{السرعة})^2}{2 \times \text{الجذب}}$$

حيث (السرعة) هي السرعة الابتدائية

يتم حساب أقصى ارتفاع يصله المقذوف بدلالة الزمن من خلال القانون الأتي:

$$\text{أقصى ارتفاع} = \frac{\text{الجذب} \times (\text{الزمن})^2}{2}$$

حيث (الزمن) هو **زمن الوصول الى اقصى ارتفاع**

ثانيا) المقذوفات بزوايا

يتم حساب المسافة الافقية من خلال القانون الاتي:

$$\text{المسافة الافقية} = \frac{(\text{السرعة})^2 \times \text{جيب } (2\times\text{الزاوية})}{\text{الجذب}}$$

يتم حساب اقصى ارتفاع من خلال القانون الاتي:

$$\text{أقصى ارتفاع} = \frac{(\text{السرعة} \times \text{جيب الزاوية})^2}{2 \times \text{الجذب}}$$

يتم حساب زمن وصول المقذوف إلى أقصى ارتفاع بزوايا من خلال القانون الأتي:

$$\text{زمن الوصول إلى أقصى ارتفاع في قوس الطيران} = \frac{\text{السرعة} \times \text{جيب الزاوية}}{\text{الجذب}}$$

من المتوقع ان أقصى ارتفاع يكون في منتصف المدى على اعتبار ان للمقذوف مسار على شكل قطع مكافئ (قوس متكافئ الطرفين) ، وعليه فأن زمن طيران الأداة يحسب من القانون أعلاه وذلك بضربها في (2) وهو زمن المسافة الأفقية أو الطيران. وعليه فان الزمن يحسب وفقا للقانون التالي:

$$\text{زمن الطيران او زمن المسافة الافقية} = 2 \times \frac{\text{السرعة} \times \text{جيب الزاوية}}{\text{الجذب}}$$

او

زمن الطيران او زمن المسافة الافقية = 2 × زمن الوصول إلى أقصى ارتفاع

عندما تكون زاوية المقذوف (90 درجة) فان قيمة جيب الزاوية هي (1) وعندما تكون زاوية المقذوف (45 درجة) فان قيمة جيب الزاوية تعود الى (1) عند ضربها في (2) ، وعليه فان افضل زاوية للحصول على افضل مسافة افقية هي (45 درجة) عند تساوي مستوى الانطلاق والهبوط.

مثال: كرة تنطلق الى الأعلى بسرعة (4 م/ثا) ، احسب اقصى ارتفاع تصل اليه والزمن الذي يستغرقه

$$\text{أقصى ارتفاع} = \frac{(\text{السرعة})^2}{2 \times \text{الجذب}}$$

$$\text{أقصى ارتفاع} = \frac{(4)^2}{2 \times 9.81} \quad \text{أقصى ارتفاع} = \frac{16}{19.62}$$

أقصى ارتفاع =0.82 متر أي 82 سم

ولحساب الزمن نتبع الاتي :

$$\text{أقصى ارتفاع} = \frac{\text{الجذب} \times (\text{الزمن})^2}{2}$$

يمكن تغير المواقع وفقا لقاعدة ضرب الوسطين في الطرفين

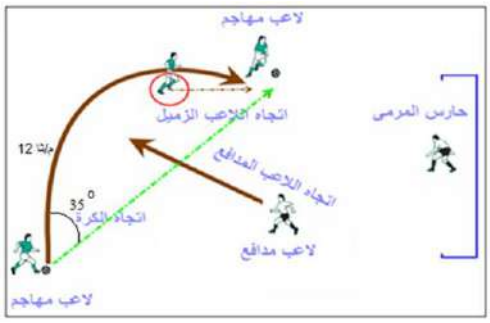
$$\frac{\text{أقصى ارتفاع}}{1} = \frac{\text{الجذب} \times (\text{الزمن})^2}{2}$$

وبضرب الوسطين في الطرفين **[الجذب × (الزمن)^2 × 1 = اقصى ارتفاع × 2]** ثم نقل الجذب الأرضي وعليه

$$(\text{الزمن})^2 = \frac{\text{اقصى ارتفاع} \times 2}{\text{الجذب}}$$

$$(\text{الزمن})^2 = \frac{2 \times 0.82}{9.81} \quad (\text{الزمن})^2 = \frac{1.64}{9.81} \quad (\text{الزمن})^2 = 0.17 \text{ ثا}^2$$

$$\text{الزمن} = \sqrt{0.17} = 0.41 \text{ ثانية}$$



شكل (2-24) يوضح تخطيط قطع الكرة في كرة القدم وفقا لقانون المقذوفات

مثال : ضربت كرة القدم بزاوية (35 درجة) فانطلقت بسرعة (12 م\ثا) ، احسب المسافة التي تصلها الكرة واقصى ارتفاع يبلغها والزمن المستغرق لها في الوصول الى اقصى ارتفاع والزمن الكلي في الهواء علما ان جيب الزاوية (35) هي (0.57) و جيب الزاوية (70) هي (0.94)

$$\text{المسافة} = \frac{(\text{السرعة})^2 \times \text{جيب } (2\times\text{الزاوية})}{\text{الجذب}}$$

$$\text{المسافة} = \frac{(12)^2 \times \text{جا } (2\times 35)}{9.81} \qquad \text{المسافة} = \frac{144 \times \text{جا } (70)}{9.81}$$

$$\text{المسافة} = \frac{144 \times 0.94}{9.81} \qquad \text{المسافة} = \frac{135.36}{9.81} = 13.80 \text{متر تصلها الكرة}$$

$$\text{أقصى ارتفاع} = \frac{(\text{السرعة} \times \text{جيب الزاوية})^2}{2 \times \text{الجذب}}$$

$$\text{أقصى ارتفاع} = \frac{(12 \times \text{جا } 35)^2}{2 \times 9.81} \qquad \text{أقصى ارتفاع} = \frac{(12 \times 0.57)^2}{2 \times 9.81}$$

$$\text{أقصى ارتفاع} = \frac{(6.84)^2}{16.92} \qquad \text{أقصى ارتفاع} = \frac{46.79}{16.92}$$

أقصى ارتفاع = 2.77 متر المطلوب من اللاعب المدافع ان يرتفع اعلى من (2.77 متر) لقطع مسار الكرة

$$\text{زمن الوصول إلى أقصى ارتفاع} = \frac{\text{السرعة} \times \text{جيب الزاوية}}{\text{الجذب}}$$

$$\text{زمن الوصول إلى أقصى ارتفاع} = \frac{0.57 \times 12}{9.81}$$

زمن الوصول إلى أقصى ارتفاع = 0.70 ثانية زمن الوصول إلى أقصى ارتفاع

المطلوب من اللاعب المدافع ان يصـــل خلال اقل من (0.70 ثانية) لاقصىـــ ارتفاع للكرة

الزمن الكلي = 1.40 ثانية المطلوب من الزميل ان يصـــل الى المكان المتوقع لتواجد الكرة خلال (1.40 ثانية)

$$\text{معدل سرعة الكرة} = \frac{13.80 \text{ متر}}{1.40 \text{ ثانية}}$$

معدل سرعة الكرة = 9.83 م\ثا معدل السرعة المطلوبة للاعب المهاجم للتحرك الى موقع سقوط الكرة لاستلامها، وهذه سرعة عالية مما يتطلب ان يكون اللاعب مستعدا ومتقدما لكي يستطيع الوصول الى الموقع المطلوب بأقل سرعة ممكنة توفيرا للجهد واقتصادا بالقوة والطاقة الحركية

تباين مستويات الانطلاق والهبوط

عند تباين مســتويات الانطلاق والهبوط يخرج مســار الكرة من شــكل القطع المكافئ لذلك تم معالجة ذلك وحسب الخطوات ادناه:

حساب المسافة (*)

$$\text{المسافة الافقية} = \frac{(\text{السرعة})^2}{\text{الجذب}} \times \text{ظل الزاوية} \times \left(\text{جا الزاوية} + \sqrt{(\text{جا الزاوية})^2 + \frac{2 \times \text{الجذب} \times \text{الارتفاع}}{(\text{السرعة})^2}}\right)$$

حساب الزمن

$$\text{الزمن} = \frac{\text{السرعة} \times \text{جا الزاوية} + \sqrt{(\text{السرعة} \times \text{جا الزاوية})^2 + 2 \times \text{الجذب} \times \text{الارتفاع}}}{\text{الجذب}}$$

ان القانون اعلاه يصـلح حتى اذا كان فرق الارتفاع صـفرا أي ان مسـتوى الانطلاق يساوي مستوى الهبوط

في تحليل الحركات يفضــل ان يتم حســاب زاوية الانطلاق بعد اجتياز الكرة لقطرها أي عند تحديد النقطة الثانية وذلك بمد خط بين النقطتين لاعتبارهما ضلعان لتحديد الزاوية ، ويجب الانتباه الى حساب مركز ثقل الجسم فيفضل اجتياز نصف مساحة الورك عند رسم النقطة الثانية الى الاعلى او الاسفل ويمكن استخدام المماس.

(*) توجد اشكال كثيرة لهذا القانون ولكن هذه الصيغة هي الصحيحة

الفصل الثاني

الكيناتيك (Kinetics)

يهتم هذا العلم بوصف الحركة من حيث مسبباتها وهو يصف حركة الأجسام من جوانب الطاقة والقوة والدفع والشغل والقدرة

المبحث الاول

القوة (Force)

هو الفعل الميكانيكي الذي يحاول ان يغير من وضع الجسم من السكون الى الحركة او من الحركة الى السكون ، ان حدوث الحركة هي عبارة عن تأثير متبادل بين القوى التي تتمثل بقوة العضلات والقوى الخارجية المحيطة بالرياضي والتي تؤثر بشكل فاعل في مقدار القوة التي يستخدمها لأداء حركة معينة .

أولا) تأثير القوة

يمكننا تقسيم تأثير القوة الى :-

1- التأثير الديناميكي (الحركي) : ان تأثير القوة في هذه الحالة يسبب حدوث الحركة كما في حالة دفع الجسم او تحريك جزء من اجزاء الجسم لاداء حركة معينة، ومثال ذلك (دفع الأرض لغرض القفز).

2- التأثير الاستاتيكي (الثابت) : يحدث هذا النوع من التأثير عندما تستخدم قوة للتغلب على مقاومة كبيرة جدا بحيث لا تتمكن القوة من التغلب على القصور الذاتي [1]، ومثال ذلك (دفع الحائط).

([1]) القصور الذاتي هو الممانعة أي عدم قدرة الجسم على تحريك او إيقاف حركته الا بوجود قوة عضلية او قوة خارجية

ثانيا) مواصفات القوة

للقوة اربعة مواصفات مهمة وهي:

1- مقدار القوة: اذا اثرنا في جســـم بقوة لتحريكه فلابد ان يكون هناك وصف كمي لها فنذكر ان مقدار التأثير كان (100 نيوتن).

2- خط عمل القوة: ويختلف مقدار التأثير باختلاف خط العمل فاذ كان خط العمل مطابقا لمركز الجسم كان مقدار القوة مؤثرا بشكل اكبر لو انها على خط عمل مختلف

3- اتجاه القوة: القوة عبارة عن كمية متجهة ، فأذا اردنا القول عند تسـليط قوة (100نيوتن) على جسـم فان المفهوم الميكانيكي لا يعبر عن تأثير القوة ما لم يتم ذكر الجهة التي اثرت بالقوة او زاويتها.

4- نقطة تأثير القوة: لابد من معرفة موقع تأثير القوة في الجســـم المراد تحريكه ، لنأخذ على ســـبيل المثال عتلة من النوع الاول تســـتخدم لرفع ثقل معين ، فلرفع ذلك لابد من اســـتخدام قوة تبعد عن محور الارتكاز بمقدار معين بمعنى اخر ان نقطة تأثير القوة تقع على ذلك البعد.



شكل (2-25) يوضح مواصفات القوة

ثالثا) تركيب القوى (محصلة القوى)

تعد القوة كمية متجهة وللتعبير عنها ينبغي ذكر مقدارها واتجاهها ، وعندما تؤثر اكثر من قوة في جسم فان محصلتهما تستخرج حسب خط فعل القوى المؤثرة في ذلك الجسم وتنقسم كما يلي :-

- اذا اثرت قوتان في جســـم ، وكانت القوتان في اتجاه واحد فان الفعل التأثيري لهما أي محصلة القوتان هي المجموع الجبري لهما .

المحصلة = القوة$_1$ + القوة$_2$



شكل (2-26) يوضح جمع القوى

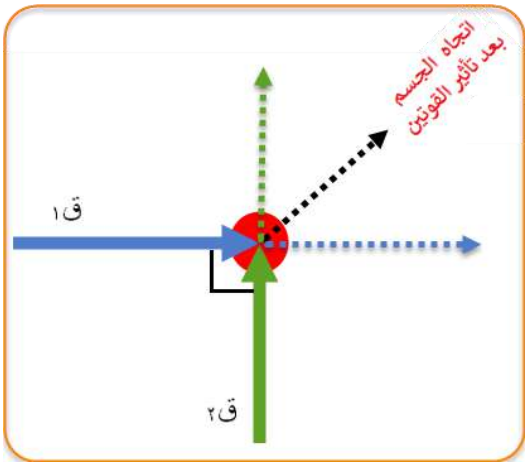
- إذا أثرت قوتان في جسم ، وكانت القوتان في اتجاه متعاكس ، فان محصلة القوتان أي الفعل التأثيري لهما هي الفرق الجبري بينهما ، واتجاه المحصـــلة باتجاه القوة الكبيرة.

المحصلة = القوة$_1$ - القوة$_2$



شكل (2-27) يوضح طرح القوى

- إذا أثرت قوتان في الجســـم وبينهما زاوية قائمة فان محصـــلة هذه القوى يمكن الاستدلال عليها من خلال تطبيق نظرية فيثاغورس .



شكل (2-28) يوضح تعامد القوى

$$\text{المحصلة} = \sqrt{ق_1^2 + ق_2^2 + (2\ ق_1 \times ق_2 \times \text{جتا هـ})}$$

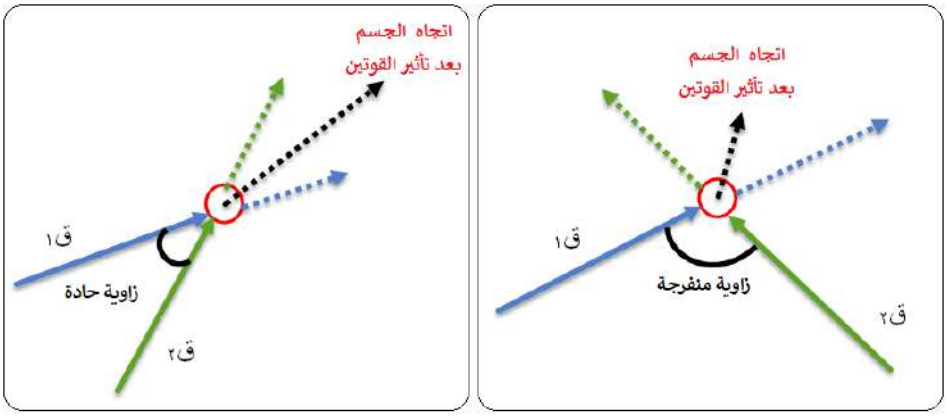
حيث ق تعني القوة

ولان جتا الزاوية 90 = صفرا فلا تبقى اهمية للشطر الثاني بعد علامة الجمع ، لذلك فان القانون يكتب على الشكل الاتي

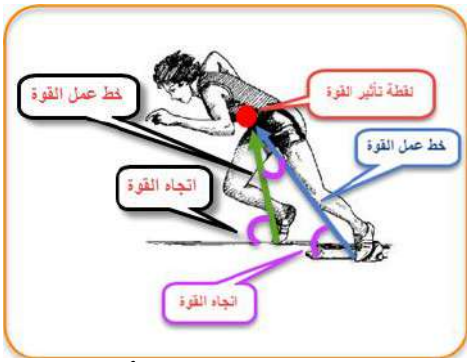
$$\text{المحصلة} = \sqrt{ق_1^2 + ق_2^2}$$

- اما اذ اثرت قوتان في جسـم وكانت الزاوية بينهما حادة او منفرجة فان محصـلتهما يمكن استخراجها بتطبيق العلاقة التالية :

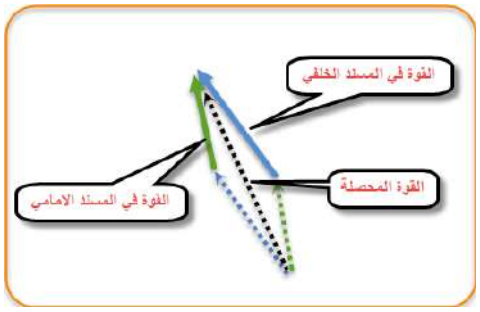
$$\text{المحصلة} = \sqrt{ق_1^2 + ق_2^2 + 2\ ق_1 \times ق_2 \times \text{جتا هـ}}$$



شكل (4-16) يوضح رسم المحصلة في الزوايا التي تقل او تزيد عن 90 درجة بين القوى



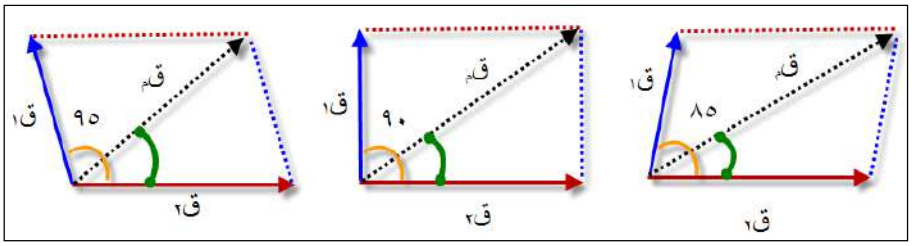
شكل (2-29) يوضح زاوية تأثير كل قوة في مركز ثقل الجسم والزاوية بين القوتين



شكل (2-30) يوضح المحصلة من تأثير القوتين في مركز ثقل الجسم

مثال : أثرت قوتان (ق1، ق2) مقدارهما (20 نيوتن،30 نيوتن) في جسم وكانت الزاوية بينهما هي (85 درجة)، ثم اصبحت (90 درجة) ، وبعدها أصبحت (95 درجة) جد محصلة القوتين في الحالات الثلاثة .

ان الملاحظة الاولى عن الحالات الثلاث هي انه كلما كبرت الزاوية بين القوتين فان المحصلة تقل كون ان القوتين تميلان الى الاتجاه المعاكس عن بعضهما



شكل (2-31) يوضح قيمة المحصلة واتجاهها في الزوايا التي تقل عن 90 درجة وتساويها وتزيد عنها

قيمة المحصلة للزاوية 85 درجة

$$\text{المحصلة} = \sqrt{(20)^2 + (30)^2 + 2 \times 20 \times 30 \times 0.087}$$

المحصلة = 37.48 نيوتن

قيمة المحصلة للزاوية 90 درجة

$$\text{المحصلة} = \sqrt{(20)^2 + (30)^2 + 2 \times 20 \times 30 \times 0}$$

المحصلة = 36.05 نيوتن

قيمة المحصلة للزاوية 95 درجة

$$\text{المحصلة} = \sqrt{(20)^2 + (30)^2 + 2 \times 20 \times 30 \times (-0.087)}$$

المحصلة = 34.58 نيوتن

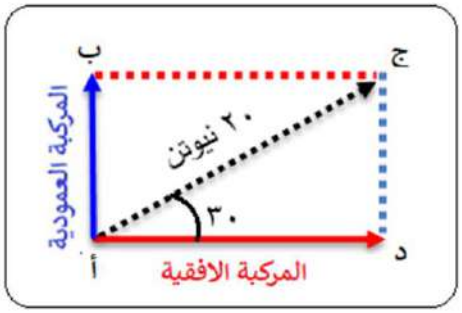
ومن هذا نستنتج ان الزاوية كلما قلت بين القوتين كانت المحصلة اكبر

رابعا) تحليل القوى (المركبات)

ان عملية تحليل القوة هي عكس تركيبها او جمعها ، ففي هذه الحالة نحصل على تحليل القوة الى مركباتها الافقية والعمودية عندما تكون المحصلة المؤثرة في الجسم معلومة وكذلك الزاوية التي تعمل عليها.

مثال : اثرت قوة مقدارها (20 نيوتن) بزاوية (30 درجة) مع الخط الافقي على جسم ، والمطلوب حساب مركباتها الافقية والعمودية؟

من المثلث (أدج) القائم الزاوية في (د) يعد (أج) هو وتر المثلث (أدج) و (أد) هو المجاور للزاوية (ج أ د) و (ج د) المقابل للزاوية ، فيمكننا استخراج المركبتين الأفقية والعمودية بالاعتماد على قوانين المثلثات كما يلي :



شكل (2-32) يوضح تحليل القوة المحصلة الى مركباتها

$$\text{جيب الزاوية} = \frac{\text{المقابل (المركبة العمودية)}}{\text{الوتر}} \quad \ldots\ldots(1)$$

$$\text{جيب تمام الزاوية} = \frac{\text{المجاور (المركبة الافقية)}}{\text{الوتر}} \quad \ldots\ldots(2)$$

ولايجاد المركبة العمودية نستخدم المعادلة رقم (1) بعد ضرب الوسطين في الطرفين

المركبة العمودية = جيب الزاوية × المحصلة

المركبة العمودية =0.5 × 20

المركبة العمودية =10 نيوتن

ولايجاد المركبة الافقية نستخدم المعادلة رقم (2) بعد ضرب الوسطين في الطرفين

المركبة الافقية = جيب تمام الزاوية × المحصلة

المركبة الافقية =0.87 × 20

المركبة الافقية =17.4 نيوتن

ويلاحظ بان المركبة الافقية أكبر من المركبة العمودية بسبب الزاوية الحادة

خامسا) قوانين نيوتن في الحركات الخطية

لقد درس العالم (اسحاق نيوتن) الحركة والقوة والعلاقة بينهما ووضعها على شـــكل قوانين ثلاثة اطلق عليها اســـم قوانين نيوتن والتي تتعلق بالقصـــور الذاتي والتعجيل وقانون الفعل ورد الفعل .

القانون الاول (قانون القصور الذاتي Inertia)

كل جسم يحاول الاستمرار في سكونه او حركته مالم تؤثر فيه قوة اخرى لتغير حالته

ان القصور يعني (العجز) والذات يعني (الشيء نفسه) ويعني ذلك ان الجسم قاصر على تحريك ذاته بذاته الا بوجود قوة كما انه عاجز على ايقاف ذاته بذاته الا بوجود قوة ، ويمكننا تعريف القصـور الذاتي **(بانه مقدار ممانعة الجسـم عن الحركة او التوقف عن الحركة)** فعداء المائة متر لا يمكنه الانطلاق من مســـندي البداية الا بتســـليط قوة مع اتجاه الحركة ولايســـتطيع بعد تحركه التوقف الا بتســـليط قوة معاكسـة لاتجاه حركته ، ويعتمد طول الفترة الزمنية وطول المسـافة التي يتوقف فيها على مقدار القوة التي يسـتخدمها للايقاف ، ويمكننا أيضـا تعريف القصـور الذاتي **بانه مقدار الممانعة التي يمتلكه الجسم.**

العوامل المؤثرة في القصور الذاتي

1- كتلة الجســم : كلما كانت الكتلة كبيرة كلما امتلك الجســم قصــورا كبيرا مثل رياضة السومو او المصارعة بالاجسام الضخمة.
2- طبيعة الارض او السطح الذي تتم عليه الحركة : يمتلك الجسم قصورا كبيرا على الاراضي الخشنة أي يصعب تحريكه بسهولة في حين يمتلك قصورا اقل في الاراضي الزلقة او الجليدية.
3- قاعدة الارتكاز : عندما يراد تحريك جســـم ذي كتلة معينة وله قاعدة ارتكاز كبيرة يتطلب ذلك قوة كبيرة للتغلب عليه. بينما تكون القوة المســـتخدمة

اقل فيما لو كانت للكتلة نفسها قاعدة صغيرة. ونجد هذا المبدأ في رياضة المصارعة مثلا نجد ان المصارع يحاول دائما توسيع قاعدة ارتكازه بتوسيع المسافة بين القدمين للتقليل من تأثير القوة التي يستخدمها الخصم ضده لأن الخصم في هذه الحالة يحتاج الى قوة كبيرة لاسقاطه.

4- وضع الجسم : ان مقدار القوة المستخدمة لاكساب جسم سرعة معينة يختلف باختلاف وضع الجسم قبل استخدام القوة ، فاذا كان الجسم المراد التأثير فيه ثابتا وأردنا تحريكه يتطلب الامر قدرا معينا من القوة ، اما اذا كان الجسم نفسه في حالة حركة ولو بطيئة فلاكسابه السرعة نفسها عندئذ تكون القوة المستخدمة اقل من الحالة الأولى.



شكل (2-33) يوضح أنواع قاعدة الارتكاز

القانون الثاني (قانون التعجيل Accelerations)

ان تعجيل الجسم يتناسب طرديا مع القوة المؤثرة وتحدث الحركة باتجاه القوة

كلما كانت القوة المستخدمة كبيرة كانت الحركة اكبر والعكس صحيح. ويمكن صياغة المعادلة الرئيسية للقانون بما يلي:-

القوة = الكتلة × التعجيل

ق = ك × ع ..... وقد نكتب في بعض الأحيان (ج) بدلا من (ع)

الكتلة والوزن

تعرف الكتلة بانها (مقدار ما يحتويه الجسم من مادة) اما الوزن فيعرف بانه (مقدار الجذب الأرضي على الكتلة) والكيلوغرام الواحد تساوي (9.81 نيوتن) ، ويوجد فرق بين المصطلحين في الوحدات فوحدة الوزن هي (نيوتن) اما وحدة الكتلة فهي (كيلوغرام) ولتحويل الكتلة الى الوزن يتم ضرب الكتلة في قيمة الجذب الأرضي

مثال: شخص كتلته 60 كغم ما مقدار وزنه

القانون المستخدم هو (القوة = الكتلة × الجذب الأرضي) **ويمكن ان نستخدم الوزن بديلان عن القوة**

الوزن = 60 كغم × 9.81 م/ثا^2

الوزن = 588.6 نيوتن

ومن القانون يمكننا ان نجد ان التعجيل (التسارع) فهو يتناسب طرديا مع القوة ولذلك نجد ان القوة موجودة في البسط ، وان اتجاه الحركة الذي يكتسبها الجسم بفعل تأثير القوة يكون بنفس اتجاه القوة ويبدأ الجسم بالحركة اذا كانت القوة المؤثرة اكبر من مقاومة الجسم ويكتسب تعجيلا.

القوة = الكتلة × التعجيل

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

كما يمكننا صياغة القانون بانه **(الدفع = التغير في كمية الحركة)**

ان كمية الحركة او الزخم (Momentum) تعني الاستمرارية وقانونه:

كمية الحركة = الكتلة × التغير في السرعة

كمية الحركة = ك × (س2-س1)

وقانون الدفع (Impulse) هو

الدفع = القوة × الزمن

ومن خلال القانون أعلاه نســتطيع ان نثبت ان **(الدفع يتناســب طرديا مع كمية الحركة)**

من معلوماتنا السابقة

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{التغير في السرعة}}{\text{الزمن}}$$

وبما ان (القوة = الكتلة × التعجيل) فان

$$\text{القوة} = \text{الكتلة} \times \frac{\text{التغير في السرعة}}{\text{الزمن}} \quad \text{او} \quad \text{القوة} = \frac{\text{الكتلة} \times \text{التغير في السرعة}}{\text{الزمن}}$$

ومن القانون أعلاه نثبت ان القوة تتناسب عكسياً مع الزمن (أي كلما قل الزمن زادت القوة) ولذلك فان واثب العالي او العريض يحاول ان يقلل فترة تماسه مع الأرض عند الارتقاء لان القوة تتناسب عكسياً مع الزمن.

وبضرب الوسطين في الطرفين

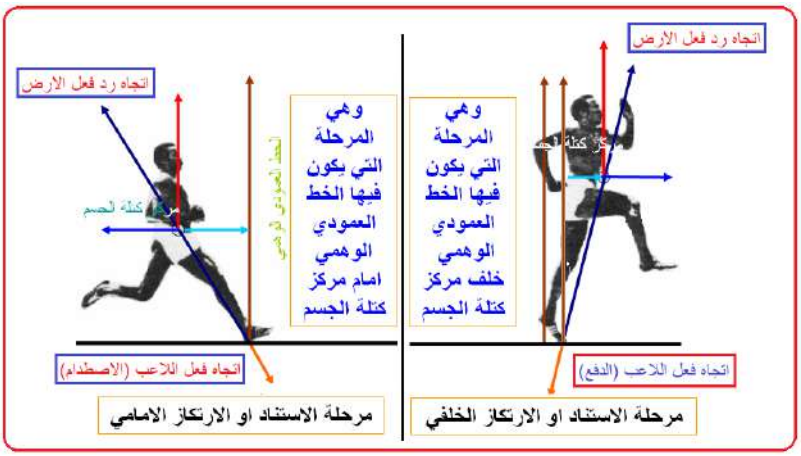
القوة × الزمن = الكتلة × التغير في السرعة

ومن ملاحظاتنا على القانون أعلاه نجد ان الطرف الأيمن هو الدفع والايسر هو كمية الحركة او الزخم ، ومن المهم ان الجذب الأرضي علامته سالب وقيمته (**9.81-**م/ثا^2) ، ومن خلال هذا القانون نستطيع تحويل وحدة الكيلوغرام الى وحدة النيوتن بضرب الكتلة في (9.81)

القانون الثالث (الفعل ورد الفعل Action and Reaction)

لكل فعل رد فعل يساويه في المقدار ويعاكسه في الاتجاه ويقعان على خط فعل واحد

ان القيام بحركة معينة تتم من خلال قوة يصـــدرها الرياضي ويعبر عن هذه القوة بمصطلح الفعل ونتيجة لذلك يحصل على قوة مضادة ومساوية لمقدار الفعل يطلق عليها رد الفعل ، ان الاســتفادة من المحيط في تعزيز رد الفعل يتضــح كثيرا في المجال الرياضي فقافز العريض يســتخدم الارض لتعزيز ردود افعال التقلص المركزي للعضــلات العاملة ونرى ذلك من منصــة القفز في الســباحة وفي الوقت الذي تعد الارض محيط صــلب فان القفاز محيط ارتدادي والترامبولين كذلك وللماء محيط سائل عند السباحة الحرة ، ردود الافعال في المجال الرياضي تختلف وفقاً للمحيط.



شكل (2-34) يوضح رد فعل الأرض في مرحلتي الاصطدام والدفع)

اثناء اصطدام قدم اللاعب على الأرض تتولد قوة لرد الفعل باتجاه معاكس لحركته (المحصلة) وهذه القوة تحاول دفع اللاعب نحو الخلف والأعلى ، لذلك نرى سهمين متعاكسين في المركبة الافقية على مركز ثقله مما يعني ان محصلة القوتين ستكون (الطرح) اما بعد اجتياز هذه المرحلة فانه ينتقل الى الارتكاز الخلفي ونرى بان رد الفعل سيكون مع اتجاه الحركة و ستدفع اللاعب نحو الامام ونرى سهمين بنفس الاتجاه في مركز ثقل الجسم في المركبة الافقية مما يعني ان محصلتهما ستكون (الجمع)

سادسا) تطبيقات قوانين نيوتن في الحركات الدائرية

عزم القصور الذاتي في الحركات الدائرية

تم تعريف القصور الذاتي في موضوع سابق في الحركات الخطية (**بانه مقدار ممانعة الجسم عن الحركة او التوقف عن الحركة**) ، اما في الحركات الدائرية فسنضيف على هذه الممانعة او المقاومة مصطلح العزم ومصطلح العزم يظهر في الحركات التي يكون فيها محور أي يظهر في الحركات الدائرية ، والعزم يعني **نصف القطر** ، وكما وجدنا سابقا في موضوع العتلات (عزم القوة) وكان يعني ذراع القوة أي نصف القطر او بعد نقطة القوة عن محور الدوران . و الحركات الدائرية لا تحدث الا بوجود محور (الحركة على محيط الدائرة) مثل الذراع الرامية للادوات او الرجل الضاربة للكرة فيكون (المرفق) هو محور الدوران في الرمي و (الركبة) هي محور الدوران في ركل الكرة ، وهنا فان العوامل المؤثرة لمقاومة الحركة لا يتوقف على الكتلة وانما على بعد الجزء العمودي عن محور الدوران ، فعندما تدور الذراع او الرجل فأن زوايا المفاصل تؤثر في قيم عزم القصور الذاتي.

العوامل المؤثرة في عزم القصور الذاتي باثر من الحركات الدائرية

1- كتلة الجسم : كلما كانت الكتلة كبيرة كلما امتلك الجسم قصورا كبيرا مثل رياضة السومو او المصارعة بالاجسام الضخمة.
2- طبيعة الارض او السطح الذي تتم عليه الحركة : يمتلك الجسم قصورا كبيرا على الاراضي الخشنة أي يصعب تحريكه بسهولة في حين يمتلك قصورا اقل في الاراضي الزلقة او الجليدية.
3- البعد العمودي عن محور الدوران (نصف القطر)

ويتناسب عزم القصور الذاتي طرديا مع الكتلة ومربع نصف القطر وكما في القانون

عزم القصور الذاتي = الكتلة × (نصف القطر)^2

علاقة السرعة الزاوية بعزم القصور الذاتي

يتناسب عزم القصور الذاتي عكسيا مع (**السرعة الزاوية**) فعند ما يحاول الرياضي الدوران في الرقص على الجليد حول نفسه بسرعة يقوم بتقريب اجزاء الجسم نحو محور الدوران لتقليل عزم القصور الذاتي أي عند زيادة السرعة الزاوية يقل القصور الذاتي بسبب القصر وعند إبعاد الاجزاء تقل سرعة الدوران فيزداد القصور الذاتي بسبب الطول . **ان قافز العالي يقوم برفع رجل المرجحة (القائدة) الى الاعلى وهي منثنية وذلك لتقليل القصور الذاتي بتقصير نصف قطر الدوران وزيادة السرعة الزاوية** ، ان اقتراب مراكز الاجزاء من محور الدوران الاساسي (المحور العمودي) يؤدي الى سرعة الدوران.



شكل (2-35) يوضح صور متسلسلة لثني الرجل الحرة (القفز العالي)

في حركات الوثب والقفز تساهم الذراعين من خلال المرجحة في زيادة كمية الحركة الدورانية او نقصانها لحظة النهوض ، فنجد ان واثب الطويل يقوم بحركات بندولية ودورانية للذراعين والرجلين في الطيران مما يؤدي الى ايقاف الدوران حول المحور الجانبي ، ويحاول الواثب المحافظة على توازنه اثناء طيرانه بالمحافظة على وضع الجذع قبل الهبوط ، فعند المشي في الهواء تكون قيمة عزم القصور الذاتي مختلفة عما عليه في التعلق حيث تعمل رجل النهوض والذراع المقابلة لها على ايقاف حركة الدوران للأمام ، بينما في الانواع الاخرى عند المشي فان الفعل الاساسي لايقاف الدوران هي حركة رجل النهوض والذراع الاخرى ، وكمية الحركة الدورانية لحظة النهوض (الارتقاء) تنتج عن اتصال القدم مع سطح الارض وحركة الذراعين تزيد من كمية الحركة الزاوية لحظة النهوض .

كمية الحركة الدورانية

علاقة كمية الحركة الدورانية بالسرعة الزاوية

ان قانون كمية الحركة الخطية هو :

كمية الحركة الخطية = الكتلة × التغير بالسرعة

اما في الحركات الدائرية فان القانون سيكون :

كمية الحركة الدورانية = الكتلة × نق^2 × السرعة الزاوية

علاقة كمية الحركة الدورانية بالسرعة المحيطية

السرعة المحيطية = السرعة الزاوية × نصف القطر

$$\text{السرعة الزاوية} = \frac{\text{السرعة المحيطية}}{\text{نصف القطر}}$$

وبالتعويض

$$\text{كمية الحركة الدورانية} = \text{الكتلة} \times (\text{نصف القطر})^2 \times \frac{\text{السرعة المحيطية}}{\text{نصف القطر}}$$

باختصار نصف القطر نحصل على القانون الاتي:

كمية الحركة الدورانية = الكتلة × نق × السرعة المحيطية

سابعا) القوى الخارجية والداخلية في الحركات الرياضية

من اجل تحليل وشرح الحركات الرياضية ، لابد من معرفة القوى المؤثرة على الحركات ، وهذا يعني معرفة جميع القوى التي تؤثر على جســـم الإنســـان ، وان هذه القوى المؤثرة تقسم الى قسمين وهما :-

(أ) القوى الداخلية : وهي التي تكون داخل الجسم ومن انواعها:

1- قوة العضلات .
2- قوة مقاومة الأجهزة والأعضاء الداخلية (مثل أوتار العضلات والوضع التشريحي للمفاصل).

(ب) القوى الخارجية : وهي القوى الخارجية التي تؤثر على الجســـم وتتمكن من تغيير خط سير مركز ثقل الرياضي ومن أنواعها:

1- قوة الجذب الارضي .
2- قوة جسم آخر (الزميل ، الخصم ، القفاز) .
3- قوة المحيط (مقاومة الماء والهواء ، الاحتكاك).

ان القوى الخارجية تقسم إلى :

1- **القوى الخـارجيـة الايجـابيـة** : وهي تلـك القوى التي نتمكن من الاســتفادة منها في حالات خاصـــة مثل الحركة بوجود الجاذبية الأرضية للهبوط، الاستفادة من قوة الخصم واستخدامها ضده كما تحدث في المصـــارعة، الاســـتفادة من قوة مجرى الماء في النهر مع اتجاه المركب ، القوة الطاردة في رمي الأدوات من الدوران ، رد الفعل مع اتجاه الحركة .
2- **القوى الخارجية السلبية** : وهي تلك القوى التي تكون سلبية تتطلب بذل قوة للتغلب عليها مثل الحركة بعكس الجذب الأرض كما في حركات الجمناســـتك او القفز العالي ، رد الفعل المعاكس لاتجاه الحركة ، القوة الطاردة في ركض المنحنيات ، مقاومة الماء بالسباحة ، مقاومة الريح في الركض.

القوة الطاردة والقوة المركزية

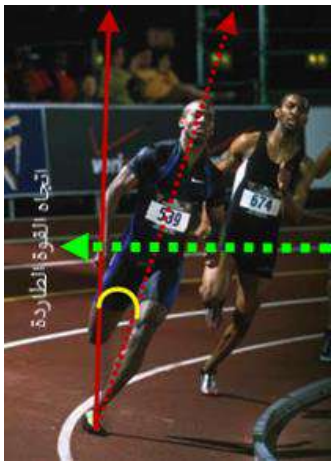
ان القوى المؤثرة في حركة اللاعب اثناء الحركة المســـتقيمة تختلف مقارنة بتأثير القوى الخارجية فيه اثناء حركة الدوران ، فنتيجة لدوران اللاعب حول محور نجد ان الجســـم يقع تحت تأثير قوة تحاول ابعاده من المســـار الدائري الى المســـار المســـتقيم ، ولكي يســـتمر اللاعب في مســـاره الدائري (وخاصـــة في ركض المنحنيات) يجب ان يوازن بين قوتي الفعل (المتمثلة بالقوة الطاردة المتجهة ضـــد اللاعب من داخل الملعب) ورد الفعل (المتمثلة بدرجة الميلان نحو الداخل كرد فعل لتلك القوة) وهنا يتحقق قانون الفعل ورد الفعل فالقوة الطاردة (Centrifugal) تحاول ابعاد

الجســـم امـا القوة الرادة لهـا فتتجـه بعكس الاتجـاه (نحو المركز كقوة مركزيـة Centripetal).

ان القوة الطاردة تكون ســـلبية على العداء في المنحنى وايجابية على رامي القرص والمطرقة ، ويمكن قياس شدة القوة الطاردة على سلك المطرقة.



شكل (2-36) يوضح مدى استفادة رامي المطرقة من القوة الطاردة



شكل (2-37) يوضح مدى التأثير السلبي للقوة الطاردة في ركض المنحنيات

ان أداة المطرقة خلال الدوران المماسي تعمل على سحب الرياضي للخارج و كرد فعل يعمل الرياضي على سحب المطرقة باتجاه محور دورانه (ميلان) ، ففي الحالة الاولى يطلق عليها القوة الطاردة (اللامركزية) ، وفي الحالة الثانية تسمى بالقوة الجاذبة (المركزية) ، وتقاس وفقاً للعلاقة الرياضية التالية :

$$\text{القوة الطاردة} = \frac{\text{الكتلة} \times (\text{السرعة})^2}{\text{نصف القطر}} \quad \text{او} \quad ق_ط = \frac{ك \times س^2}{نق}$$

حيث ($ق_ط$) تعني القوة الطاردة

ونرى ان مقدار القوة الطاردة تتناسب عكسياً مع نصف القطر أي كلما قل نصف القطر كلما زادت القوة ويمكننا ملاحظ ذلك على مجالات ركض المنحنيات ، كما يلجأ العدائين (اللاعبين) بتحريك الذراع اليمنى نحو الداخل وبذلك يزداد مداها الحركي مقارنو بالذراع اليسرى وذلك لجمع القوى باتجاه الميل نحو الداخل (باتجاه

مركز الملعب) ، كما ان القدم اليمنى تدفع الجسم نحو الداخل وتكون مهمة القدم اليسرى الارتكاز.

ووفقاً للقانون نرى ان السرعة مربعة وتتناسب طردياً مع القوة الطاردة أي تتضاعف القوة عن زيادة السرعة فلا ينصح بالاجتياز بزيادة السرعة في المنحنيات ، اما في المطرقة فالقوة الطاردة تتأثر بعاملين مهمين هما سرعة وكتلة المطرقة ، فكلما كانت حركة المطرقة سريعة كلما كانت القوة التي يولدها الرياضي كبيرة وكذلك للمحافظة على التوازن اثناء حركته الدورانية من تأثير القوة الطاردة كذلك نجد ان القوة التي يبذلها الرياضي للمحافظة على توازن حركته الدورانية كبيرة عندما تكون كتلة المطرقة كبيرة .. وبناء على ذلك نرى ان القوة الطاردة تتناسب تناسبا طرديا مع كتلة الاداة المقذوفة ومربع سرعتها وان القوتين الجاذبة والطاردة تتناسبا عكسيا مع نصف قطر الدوران ، ذلك لأن تقصير نصف القطر يؤدي الى زيادة في القوة الجاذبة او الطاردة.

ويعد معرفة درجة ميلان الرياضي عند ركضه في الاقواس ضرورية لتقدير مقدار القوة الطاردة المسلطة عليه لكي يتجنب تأثير القوة الطاردة ، ويمكن استخراج درجة ميلان الجسم حسب العلاقة التالية:

$$\text{ظل زاوية الميلان} = \frac{(\text{السرعة})^2}{\text{الجذب} \times \text{نصف القطر}} \quad \text{او} \quad \text{ظل زاوية الميلان} = \frac{\text{س}^2}{\text{ج} \times \text{نق}}$$

مثال: عداء كتلته (60 كغم) يركض بسرعة (10 م\ثا) وكان يركض في المجال الأول بنصف قطر المضمار (35 م) ، ما هو مقدار القوة الطاردة على مساره وما هو مقدار الزاوية التي يجب ان يميل بها نحو الداخل ليحافظ على مساره الدائري؟

$$\text{ق}_{\text{ط}} = \frac{\text{ك} \times \text{س}^2}{\text{نق}}$$

$$\text{ق}_{\text{ط}} = \frac{60 \times (10)^2}{35} \qquad \text{ق}_{\text{ط}} = \frac{60 \times 100}{35} \qquad \text{ق}_{\text{ط}} = \frac{6000}{35}$$

$$\text{ق}_{\text{ط}} = 171.43 \text{ نيوتن}$$

$$\text{ظل زاوية الميلان} = \frac{\text{س}^2}{\text{ج} \times \text{نق}}$$

$$\text{ظل زاوية الميلان} = \frac{(10)^2}{35 \times 9.81} \quad \text{ظل زاوية الميلان} = \frac{100}{343.35}$$

ظل زاوية الميلان =0.29

ومن خلال الحاسبة او الجداول في الملاحق نجد الزاوية

زاوية الميلان = 16.17 درجة عن الخط العمودي للجسم

قوة الاحتكاك (Fiction Force)

الاحتكاك كقوة ميكانيكية من الكميات المتجهة (الاحداثيات والزوايا) تعمل بعكس اتجاه الحركة ، وتؤثر قوة الاحتكاك تأثيرا ايجابيا او سلبيا على الحركات الرياضية ، والاحتكاك يحدث بين جسمين متصلين مع بعضهما ، وعلى هذا الأساس يمكن القول بان الاحتكاك يحدث عندما يقاوم جسم لحركة جسم آخر ملامس له ، وللاحتكاك اثار سلبية وإيجابية.

ان استخدام الأحذية المطاطية في كرة السلة أو الأحذية ذات المسامير العالية بالنسبة للاركاض السريعة هو من اجل ضمان السيطرة على الجسم عن طريق **زيادة الاحتكاك** ، وكذلك ان لاعب الجمناستك يستخدم مسحوق المغنسيوم **لتقليل الاحتكاك** لمساعدته في تحسين مسكه عارضة العقلة عند ادائه حركات الدوران حول العقلة وجعله



شكل (2-38) يوضح بعض احذية الفعاليات الرياضية والتي تتطلب الاحتكاك

باقل ما يمكن من احتكاك بين الجلد والحديد ، كما يســـتخدم لاعبو كرة اليد المواد اللاصـقة على الاصـابع وقافزي العصـا بألعاب السـاحة والميدان ، وحديثا يسـتخدم الجليد للتدريب على تقصـير الخطوات من خلال الاسـتفادة من قلة الاحتكاك لغرض التدريب على حفظ التوازن ، كما ان حلق الشـعر في رياضـة السـباحة جزء من عمليات التغلب على مقاومة الماء من خلال تقليل الاحتكاك مع الماء وفي رياضـــة الدرجات يميل اللاعب نحو الامام ويلبسـون القبعات لتقليل الاحتكاك مع الهواء ، وكذلك يلجأ اللاعبون بالاستفادة من الاحتكاك لتغيير الاتجاه.



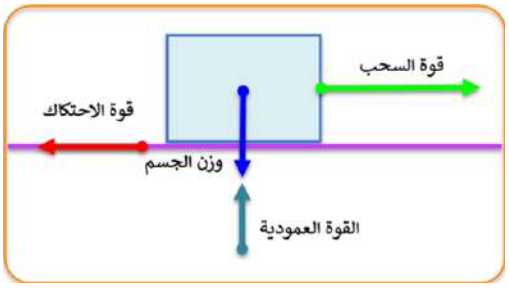
شكل (2-39) يوضح استخدام الصمغ لغرض مسك الأدوات والسيطرة عليها



شكل (2-40) يوضح استخدام المساحيق لتقليل الاحتكاك في فعاليتي الجمناستك ورفع الاثقال

معامل الاحتكاك

معامل الاحتكاك هو نسبة تدل على مقدار الممانعة بين الجسمين المتلاصقين ، ان قيمة معامل الاحتكاك تتراوح بين (0-1) فيكون الجسم متلاصقا كلما كبرت القيمة.



شكل (2-41) يوضح القوى المؤثرة عند الاحتكاك

أنواع الاحتكاك

1. الاحتكاك ألشروعي (الاحتكاك الساكن او السكوني) : وهو يعمل عند شروع الجسم الساكن بالحركة (عندما يكون احد الجسمين ثابتا كالارض والاخر ساكنا قابلا للتحرك او هو الجسم الذي يتطلب منه الحركة كاللاعب).
2. الاحتكاك ألانزلاقي و ألتدحرجي (الاحتكاك المتحرك او الحركي) : وهما يتأتيان كمقاومين خلال الحركة (عندما يكون احد الجسمين ثابتا كالارض والاخر متحركا كاللاعب).

$$\text{معامل الاحتكاك} = \frac{\text{قوة الاحتكاك}}{\text{القوة العمودية (الوزن)}}$$

او

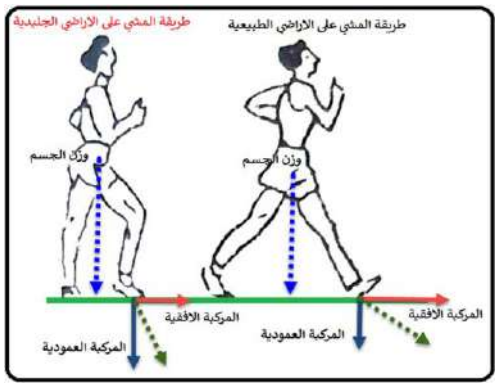
قوة الاحتكاك = معامل الاحتكاك × القوة (الوزن)

$ق_ح = مح \times ق_ع$

حيث ان مح = معامل الاحتكاك ويعتمد على نوع السطحين المتماستين

$ق_ع$ = القوة العمودية.

نلاحظ عند المشيــ على الأراضي المنزلقة او الجليدية ان الشـــخص يخطو بخطوات قصـيرة وليسـت واسـعة مـمـا يـؤدي الى ان تـكـون الـقـوى العمودية كبيرة قياسا بمركبة القوى الافقية في القدم الامامية مما يسهل عملية نقل القدم المتأخرة وكذلك جعـل وزن الجســـم دائمـا على منتصـــف مســـاحة ضـــيقة بين القدمين يساعد على السـيطرة على الحركة.



شكل (2-42) يوضح السير على الأراضي الجليدية

مثال : معامل الاحتكاك بين الجليد وآلة التزحلق هي (0.19) عند الشروع بالحركة وان هذا المعامل يقل بالاستمرارية ليصل الى (0.16) وان وزن الرياضي يبلغ (850 نيوتن) ووزن الآلة (25 نيوتن)، احسب القوة اللازمة لتحريك الآلة والقوة اللازمة لاستمرارها في الحركة. **قوة الاحتكاك = معامل الاحتكاك × القوة العمودية (الوزن)**

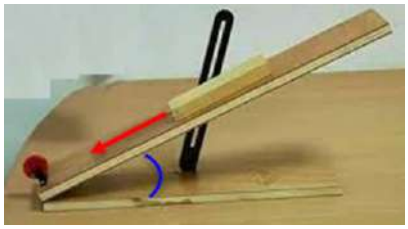
القوة المطلوبة لتحريك الآلة = 0.19 × (850 + 25)

= 166.25 نيوتن

القوة المطلوبة لاستمرار الآلة = 0.16 × (850 + 25)

= 140 نيوتن

بعد ان يحصـــل الرياضي على الزخم المطلوب يكون مقدار القوة المبذولة قليلة جدا بسبب تناقص في قيمة معامل الاحتكاك.



شكل (2-43) يوضح كيفية قياس معامل الاحتكاك بين جسمين

كما يمكن ايجاد معامل الاحتكاك من خلال ظل زاوية الميل وهذه طريقة شائعة لتقدير معامل الاحتكاك، اذ يتم وضع جسم على سطح ثم رفع هذا السطح من احد الجوانب لحين بدء الجسم بالتحرك ويتم تحديد الزاوية التي تسببت بالحركة وان ظل الزاوية هي معامل الاحتكاك السكوني، ولاجل ايجاد معامل الاحتكاك المتحرك فاننا نقيس الزاوية عن طريق نقرات مستمرة على السطح الموضوع عليه الجسم ، ويمكن باستمرار انحدار الجسم نقرأ الزاوية للدلالة على الاحتكاك المتحرك.

ظل الزاوية = معامل الاحتكاك السكوني

في تجربة قياس احتكاك جسم على مسطرة تم رفع احد طرفي المسطرة وتحرك الجسم عند الزاوية (30درجة) فمعامل الاحتكاك السكوني من خلال جداول الظل هو ظل (30 درجة) = 0.58 ، أي ان معامل الاحتكاك بين الجسمين يبلغ (0.58) ، توجد أنواع أخرى من الاحتكاك ومنها (الاحتكاك المائع) وهي عبارة عن مقاومة الماء من خلال حركة السباح هي بمثابة تحرك جسم صلب داخل سائل ولذلك يسمى معامل الاحتكاك هذا بمعامل احتكاك الموائع او المائع.

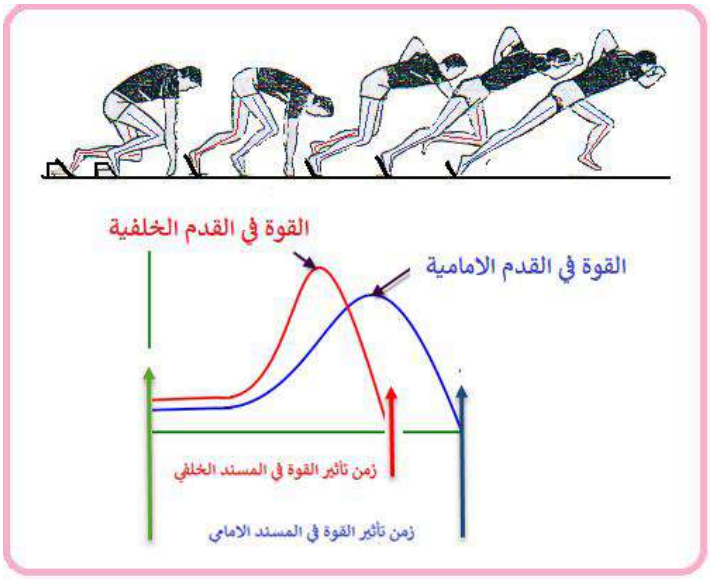
المبحث الثاني

الدفع (Impulse)

وهي القيمة الناتجة من حاصل ضرب القوة في زمن تأثيرها ، اننا نلاحظ لاعب كرة التنس او لاعب الوثب الطويل والفعاليات الأخرى يؤثرن على الأداة او الأرض بزمن مستمر لحين كسر الاتصال بالكرة او الأرض فمن خلال بقاء تأثير الزمن في فترات التماس نستطيع حساب الدفع ، والدفع من الكميات المتجهة ووحدتها نفس وحدة كمية الحركة (كغم.م/ثا) ، وحسب القانون الاتي:

الدفع = معدل القوة × زمن التأثير

كما يمكننا ملاحظة الفرق في قياسات الدفع اثناء الانطلاق من مساند البدء في الاركاض السريعة حيث نلاحظ فرق في التأخير بين القدمين.



شكل (2-44) يوضح الانطلاق من مسندي البداية

ويلاحظ من الشـــكل بان زمن تأثير القوة في المســـند الامامي اكبر بســـبب ان القدم الخلفية هي اول قدم ترفع عن المسند الخلفي بعد اطلاقة المسدس

سبق ان اوضحنا علاقة الدفع بكمية الحركة من خلال القانون:

(الدفع = التغير في كمية الحركة)

ان كمية الحركة او الزخم (Momentum) تعني الاستمرارية وقانونه:

كمية الحركة = الكتلة × التغير في السرعة

كمية الحركة = ك × (س$_2$-س$_1$)

وفي حالة كون السرعة الابتدائية صفرا أي ينطلق الجسم من الثبات فان

(كمية الحركة = ك × س)

وقانون الدفع (Impulse) هو

الدفع = القوة × الزمن

ومن خلال القانون أعلاه نستطيع ان نثبت ان

(الدفع يتناسب طرديا مع كمية الحركة)

او ان الدفع يساوي كمية الحركة ، والخطوة الأولى هي تفكيك القوة في قانون الدفع

(الكتلة × التعجيل) × الزمن = الكتلة × السرعة

ومن ثم تفكيك التعجيل

$$\text{الكتلة} \times \frac{\text{السرعة}}{\text{الزمن}} \times \text{الزمن} = \text{الكتلة} \times \text{السرعة}$$

ويثبت القانون أعلاه بان الدفع يساوي التغير في الحركة ومن خلال تساوي وحدات الطرفين

مثال: يبين الجدول التالي التسلسل الزمني للانطلاق من مسندي البداية وتبين بعد اطلاقة المسدس ان زمن تماس القدم مع المسند الخلفي قد بلغ (0.40 ثانية) حيث ان القوة قد سجلت قيم صفرية تدل على ترك المسند ، فيما استمرت القدم الامامية في التماس لغاية (0.50 ثانية) جد الدفع في المسندين.

جدول (2-4) يبين التسلسل الزمني للانطلاق من مسندي البداية

عدد	الزمن (ثانية)	القوة (نيوتن)	
		المسند الخلفي	المسند الامامي
0	0.00	0	0
1	0.05	100	100
2	0.10	400	300
3	0.15	600	450
4	0.20	800	650
5	0.25	1200	900
6	0.30	600	900
7	0.35	200	700
8	0.40	100	600
9	0.45	0	300
10	0.50	0	100
11	0.55	0	0
المجموع		4000	5000
المعدل		500=8÷4000	500=10÷5000

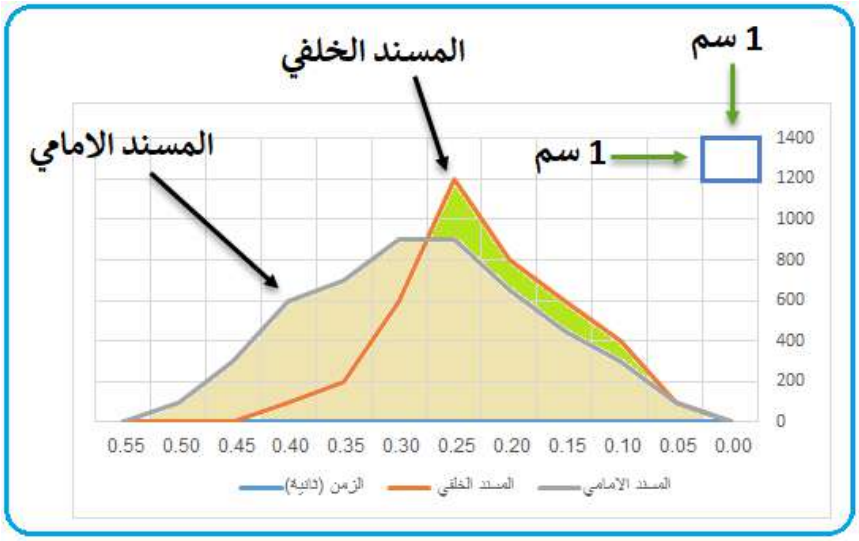
الدفع في المسند الخلفي = 500 × 0.40 = 200 نيوتن.ثانية

الدفع في المسند الامامي = 500 × 0.50 = 250 نيوتن.ثانية

ويلاحظ من الجدول بان معدل القوة في المسـندين هي نفسـها وان القوة في المسـند الخلفي اكبر ولكن الدفع في المسند الامامي اكبر بسبب زمن التأثير

المساحة تحت المنحنى

ان الدفع يساوي المساحة تحت المنحنى ، اذ من خلال ملاحظتنا للشكل نجد ان هناك دالة او منحنى تتضمن مساحة يمكن قياسها ، وتدل كبر قيمة المساحة او صغرها على مقدار العمل المنجز وقد يكون سبب كبر المساحة هي الوحدات الافقية او الوحدات العمودية في الشكل البياني ، اذ يتم تمثيل الخط الافقي من الشكل البياني بالزمن بمقدار سنتيمتر واحد بين وحدة زمنية وأخرى وكذلك يتم عمل الخط العمودي للقوة وكما موضح ادناه.



شكل (2-45) يوضح المساحة تحت المنحنى

ويلاحظ من الشكل بان المساحة التي تغطيها القدم في المسند الامامي اثناء دفعها للمسند اكبر عددا من المساحة التي تغطيها القدم الامامية اثناء دفعها للمسند وهذا متفق مع حساب الدفع الذي تم سابقا في المثال السابق ، ويعني ان الجهد او العمل الذي تم بذله في المسند الامامي اكبر.

المبحث الثالث

الضغط (Pressure)

يعرف الضغط بانه كمية القوة العمودية المسلطة على مساحة وهي النسبة بين القوة في البسط والمساحة في المقام ، ويستخدم في كثير من مجالات الفعاليات الرياضية فمثلا ان لاعبي كرة القدم يستخدمون (الكسارات) وهي عبارة عن وسادات وقاية توضع على الرجل (عظم القصبة) وذلك لتوزيع القوة عليها (مساحة الكسارة) اثناء تعرض اللاعب الى ضربة قوية على ساقه ، والضغط يتناسب عكسيا مع المساحة اذ كلما زادت المساحة قل الضغط ، اما في مجال تحليل المشي فان احد متغيرات طبعة القدم هو الضغط المسلط على الأرض ، اذ تساعد بعض الأجهزة واحذية مصممة خاصة على اظهار مقدار الضغط المسلط على الأرض ومن خلاله يمكن معرفة القدم المسطحة (Flatfoot) ، كما يمكن رصد مسار انتقال الضغط على القدم من الكعب الى المشط او بالعكس للدلالة على الاتزان الجيد او عدم وجود إصابة كما تساعد على تشخيص إصابات العرج ودوران الورك ، ووحدته (باسكال) او (نيوتن/م^2) وقانونه:

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$$

مثال : احسب مقدار الضغط المسلط على الأرض للاعب كتلته (70كغم) يقف على رجل واحدة ويرتدي حذاء حجم (42) مساحته (26سم طول × 10سم عرض)

مساحة الحذاء = 26×10 ..... مساحة الحذاء= 260 سم^2 أي 2.6م^2

وزن اللاعب = 70 × 9.81..... وزن اللاعب= 687 نيوتن

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}} \qquad \text{الضغط} = \frac{687}{2.6}$$

الضغط = 264.2 نيوتن /متر^2 او 2.642 نيوتن/سم^2

ماذا لو حسبنا الوقوف على الرجلين

مساحة كل قدم هي 2.6م^2

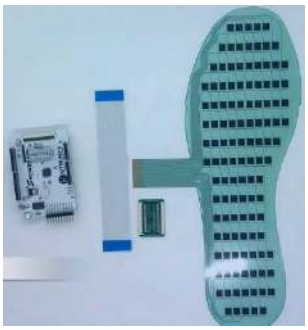
مساحة القدمين هي = 2.6 × 2

مساحة القدمين= 5.2 م^2

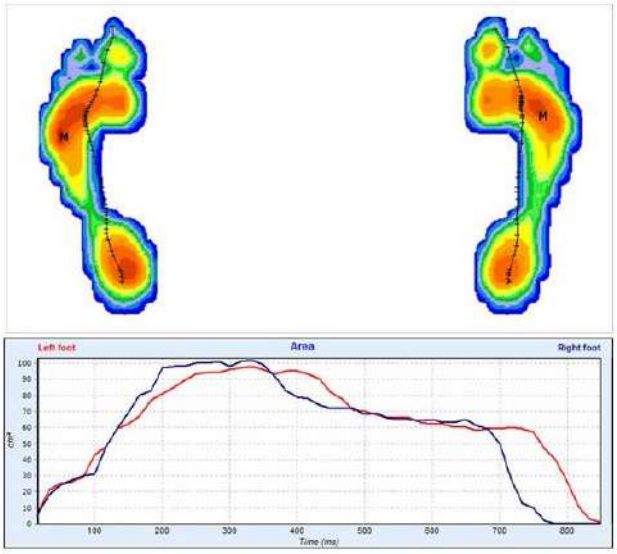
$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}} \qquad \text{الضغط} = \frac{687}{5.2}$$

الضغط =132.12 نيوتن لكل متر مربع او 1.32 نيوتن لكل سنتيمتر مربع

لاحظ ان الضغط يقل كلما كبرت المساحة



شكل (2-46) يوضح متحسسات لقياس الضغط تحت كل سنتمتر مربع تحت القدم



شكل (2-47) يوضح كميات الضغط المسلطة تحت القدم على الأرض ومسار انتقال مركز الضغط في وحدة الزمن

المبحث الرابع

الشغل (Work)

عندما يتغلب جسم على مقاومة ويستمر ولمسافة معينة فانه يكون قد بذل شـــغلا اي لو أثرت قوة معينة في جســـم وتحرك بفعل تأثير القوة فأنه يكون قد انجز شغلا، ويمكننا تعريف الشغل بانه **القوة المؤثرة لتحريك جسم الى مسافة معينة** ، ويمكن صياغة القانون الرياضي لمتغير الشغل كما يلي :

الشغل = القوة × المسافة

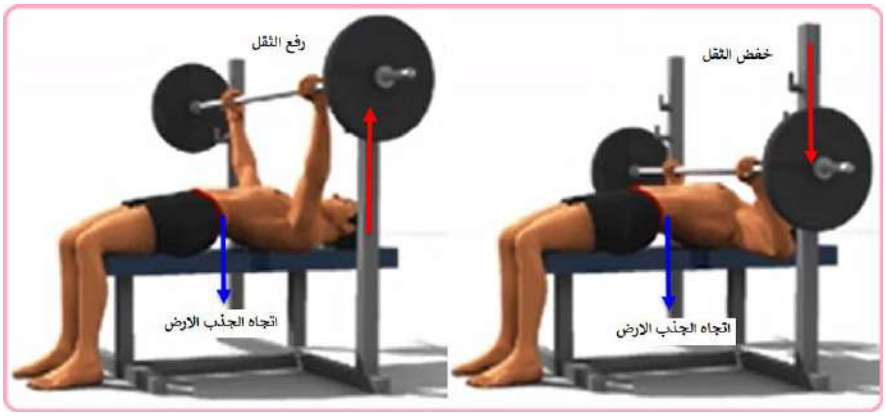
ومن الناحية الميكانيكية يمكننا حساب الشغل من خلال

الشغل = القوة × جيب تمام × الازاحة ..... لإيجاد الازاحة الافقية .....(1)

الشغل = القوة × جيب الزاوية × الازاحة ..... لإيجاد القوة العمودية .....(2)

ومن خلال القوانين اعلاه يتضح لنا ان الشغل يتناسب تناسبا طرديا مع القوة والمسافة او الازاحة ، ووحدة الشغل هي (جول)

الشـغل المنجز في نفس اتجاه الجسـم المتحرك يسـمى **(بالشـغل الموجب)** وهو الشـــغل الذي ينجز **بعكس الجذب الأرضي** او بعكس القوى الخارجية المؤثرة ، اما **(الشـغل السـالب)** فهو الشـغل الذي ينجز **مع اتجاه الجذب الأرضي** او مع اتجاه القوى الخارجية المؤثرة.



شكل (2-48) يوضح تمرين (بينج بريس)