مبادئ الميكانيكا الحيوية والتحليل الحركي

كلية التربية البدنية والرياضية

المستوى الثاني

إعـــداد

الدكتـــور

عـــارف صـــالح الكـــرمدي

٢٠١٥م – ١٤٣٦هـ

مبادئ الميكانيكا الحيوية والتحليل الحركي

إعـــــداد

الدكتـــور

عـــارف صـــالح الكـــرمدي

أستاذ التدريب الرياضي وعلوم الحركة

بكلية التربية الرياضية

جامعة الحديدة

٢٠١٥م - ١٤٣٦هـ

الطبعة الأولى

٢٠١٥م - ١٤٣٦هـ

الحديدة – اليمن

حقوق الطبع محفوظة للناشر

بسم الله الرحمن الرحيم

وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ
وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ ۖ وَسَتُرَدُّونَ إِلَىٰ عَالِمِ الْغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ
فَيُنَبِّئُكُم بِمَا كُنتُمْ تَعْمَلُونَ ﴿١٠٥﴾

صدق الله العظيم

(سورة التوبة)

الإهـــداء

إلى كل من أحب العلم وسعى إلية ...

إلى المهتمين بالعملية التعليمية في مجال التربية الرياضية ...

إلى جميع طلابنا وأصدقائنا وزملائنا الأوفياء الذين نعتبرهم مصدراً مستمراً للتحدي العلمي ...

الدكتــور

عارف صالح الكرمدي

محتويات الكتاب

الموضوع	الصفحة
الآية القرآنية	٣
الإهداء	٤
المقدمة	٨
الفصل الأول	١٠ – ٢٧
المقدمة	١٢
ماهية الميكانيكا الحيوية	١٣
تعريف الميكانيكا الحيوية	١٤
أهمية دراسة الميكانيكا الحيوية	١٥
أهداف الميكانيكا الحيوية في المجال الرياضي	١٦
أغراض الميكانيكا الحيوية	١٨
أنواع الميكانيكا الحيوية	١٩
أقسام الميكانيكا الحيوية	٢٠
مبادئ الحركة في الميكانيكا الحيوية	٢٣
مجالات الميكانيكا الحيوية	٢٧
الفصل الثانى	٢٨ – ٦٣
مفهوم علم الحركة	٣٠
ماهية الحركة	٣٠
تعريف علم الحركة	٣٣
أهمية دراسة علم الحركة	٣٣
مجالات علم الحركة	٣٣
الحركات الأساسية في جسم الإنسان	٣٥
مستويات ومحاور الحركة	٣٧
خصائص الحركات الرياضية	٤٠
أنواع الحركة	٤٠
مفهوم أبعاد الحركة	٥٩
المحاور الإحداثية أو النظام الإحداثي	٦١

تابع محتويات الكتاب

الفصل الثالث ٦٤ – ١٠٥

الجاذبية الأرضية ٦٦

الجاذبية ٦٧

مركز ثقل الجسم ٦٨

طرق تحديد مركز الثقل ٦٩

تحديد مركز الثقل الجسم ٧٠

وسائل تحديد مركز ثقل الجسم ٧١

الاتزان والاستقرار ٨٣

أوضاع الاتزان ٨٥

الاتزان الخطي والاتزان الدوراني ٨٧

الثبات الخطي والثبات الدوراني ٨٨

الاتزان الثابت وغير الثابت والمتعادل ٩١

تحليل أداء التوازن ٩٢

لاحتفاظ بالتوازن في الأوضاع الثابتة ٩٢

القوى العضلية كروافع ميكانيكية ٩٣

الفصل الرابع ١٠٦ – ١٣٧

القوانين الأساسية للحركة ١٠٨

الخصائص الميكانيكية لحركة الجسم البشري ١٠٨

قوانين الحركة لنيوتن ١٠٨

تطبيقات على القانون الأول لنيوتن ١١٤

الكتلة القصرية والكتلة التناقلية ١١٦

تطبيقات لقانون نيوتن الثالث ١٢٢

المسافة والإزاحة ١٢٥

السرعة والسرعة المتجهة ١٢٦

التعجيل ١٣٤

تابع محتويات الكتاب

الفصل الخامس ١٣٨ - ١٨٠

المقذوفات ١٤٠

أولاً : سرعة الانطلاق ١٤٢

ثانياً : زاوية الانطلاق ١٤٣

ثالثاً : ارتفاع نقطة انطلاق المقذوف ١٤٥

رابعاً : مقاومة الهواء ١٤٦

القوة والحركة ١٤٩

الدفع ١٦٠

الاحتكاك ١٦٣

الشغل والقدرة والطاقة ١٦٧

أولاً : الشغل ١٦٧

ثانياً : القدرة ١٧٢

ثالثاً : الطاقة ١٧٧

المراجع ١٨١ - ١٩٦

أولاً : المراجع العربية ١٨٣

ثانياً : المراجع الأجنبية ١٨٨

ثالثاً : المراجع من شبكة المعلومات ١٩٤

المقـــدمة :

أصبحت الثورة العلمية والتكنولوجية في جميع مجالات الحياة سمة من سمات القرن الواحد والعشرين، وقد أصبح لزاما علينا إتباع الأسلوب العلمي كأساس لمزيد من الرقي والتقدم حتى يمكننا مسايرة ركب الحضارة في مختلف فروع العلم والمعرفة وتلعب التربية البدنية والرياضية دورا هاما في حياة الشعوب بوصفها أحدى مجالات التربية العامة. حتى أصبح ارتفاع مستوى التربية البدنية والرياضية في أي بلد من بلدان العالم أحد المؤشرات التي تدل على مدى تقدمها الحضاري، ويعد التقدم العلمي في طرق التدريب وأعداد اللاعبين من الجوانب التي يرتكز عليها التقدم الرياضي الملموس حيث انه يعتبر المحصلة النهائية للاستفادة من كافة العلوم الأخرى .

وقد أتضح أن العمل المؤثر في مجال التدريب يتوقف على القيام باستخدام الحركات الفنية والإيقاع الأمثل الذي يعطي أعلى صعوبة في الحركات المتصلة، وأن المراحل المؤشرة للتطوير تحدد بمعرفة القوانين الحركية ولا يمكن تحقيق هذه القوانين وتطبيقاتها بدون البحوث والمراجع العلمية في مجالات الأنشطة الرياضية المختلفة والتي تعطي المقدرة لإظهار وتنمية وتطوير الإمكانات البشرية في كافة المجالات .

وقد اعتمد العلماء والباحثون في حل تلك المشكلات الحركية المتعلقة بالأداء الحركي للاعبين في مجال النشاط الرياضي على بعض العلوم الحديثة مثل علم الميكانيكا الحيوية وذلك بهدف الوصول للأداء الأمثل .

وفي الدراسات الخاصة بالميكانيكا الحيوية يمكن الحصول على المتغيرات الكينماتيكية للحركة من خلال التصوير السينمائي أو الفيديو أو التحليل الكينماتوجرافي ومن خلال استخدام المعادلات التفاضلية ومبادئ الميكانيكا، كما يمكن التوصل إلى المتغيرات الكينماتيكية تكامليا بالاستعانة بإحدى أجهزة قياس القوى Force Plat Form، لكن النشاط ليس دالة رياضية لأن منحنى القوة – الزمن غير ثابت ولا تحكمه معادلات معروفة، لذا يتم استخدام مدلول المركبات عند حساب قيم المنحنيات بواسطة طرق تخطيطية بسيطة وذلك عند تكرار الأداء .

ويتصف جهاز الحركة في جسم الإنسان بخصائص ميكانيكية عديد وعند تطبيق القواعد الميكانيكية على حركة الجسم لابد من مراعاة هذه الخصائص ودراسة كل الظروف والمتغيرات البايوميكانيكية وهذا يعني انه لابد من تحقيق خصائص التكنيك المثالي لأي مهارة أو حركة رياضية وأن يعكس الاستخدام

المناسب للقواعد الميكانيكية في ضوء الاستعدادات والخواص الميكانيكية الموجودة في عمل جهاز الحركة للإنسان .

ويعد الوصول المستويات العليا من الأمور المهمةٍ التي تتطلب معرفة أهم المتغيرات الميكانيكية التي تسهم في إتقان المهارة فضلا عن أداء الحركة بجهد اقتصادي ويتطلب الوصول إلى المستوى العالي معرفة التفاصيل الدقيقة للحركة ومعرفة مسبباتها والشكل الذي تتميز به "لذا يعد التحليل وسيلة منطقية يجري بمقتضاها تناول الظاهرة موضوع الدراسة كما لو كانتٍ مقسمة إلى الأجزاء أو العناصر الأساسية المؤلفة لها. إذ بحث هذه الإجراءات كلا على حدة تحقيقا لفهم أعمق للظاهرة ككل" .

وهذا الإعداد باعتباره الطبعة الأولى كمحاولة لتحقيق المزج والتكامل بين علم الميكانيكا الحيوية والتحليل الحركي وكيفية تطبيقها من خلال استعانة بدراساتهما العلمية التطبيقية وخبراته الميدانية بطابع يغلب عليه الشمولية في المعلومات أكثر تعمقاً كي يوفر اكبر قدر ممكن من بساطة مادته العلمية بهدف تمكين المدربين في مراحل العمل الأولى من استيعاب معلوماته، هذا ولم يتجاهل المعد رغبة من يريد منهم في الاستزادة أو التعمق في مجالات علم الميكانيكا الحيوية فقدم الكثير من المعلومات ليشبع حاجتهم ويتيح في نفس الوقت الفرصة ليجدوا ضالتهم خلاله .

وندعو الله سبحانه وتعالى أن أكون قد وفقت في الإسهام والمشاركة بهذا الجهد المتواضع في ملء فراغ ولو ضئيل مما تعانيه المكتبة العربية في مجال علم الميكانيكا الحيوية والتحليل الحركي .

والله ولي التوفيق ،،،،

الفصل الأول

- المقـــدمة.
- ماهية الميكانيكا الحيوية.
- تعريف الميكانيكا الحيوية.
- أهمية دراسة الميكانيكا الحيوية.
- أهداف الميكانيكا الحيوية في المجال الرياضي.
- أغراض الميكانيكا الحيوية.
- أنواع الميكانيكا الحيوية.
- أقسام الميكانيكا الحيوية.
- مبادئ الحركة في الميكانيكا الحيوية.
- مجالات الميكانيكا الحيوية.

المقـدمـة

مـرت عمليـة دراسـة حركـة الجسـم البشـري بمراحـل تطـوير متعـددة ارتبطـت بظهـور العديـد مـن الأجهـزة والأدوات الـتي اسـتعانت بهـا العلـوم الأخـرى في شـتى مجـالات الدراسـة العلميـة ، بالقـدر الـذى تحقـق فيـه تطـور كـذلك لهـذه الأجهـزة والأدوات، كمـا تطـورت دراسـة الحركـة سـواء كـان في الحيـاة العامة أو في الأداء المتميز كالأداء الرياضي .

ولـذلك اهـتم البـاحثون منـذ مطلـع القـرن العشـرين بدراسـة حركـة الإنسـان بشـكل عـام، معتمـدين في ذلـك إلى الأسـس العامـة لهـذه الحركـة وفـق القـوانين الطبيعية، وبدأ المختصون في مجال التربية الرياضية بدراسة أنواع الحركة وأشكالها والقوى المسببة لها .

ويعتبر البيوميكانيك أو الميكانيكا الحيوية هو العلم الذى يبحث في حركة أي كائن حي من جميع النواحي (التشريحية – الفسيولوجية – النفسية – البدنية – الميكانيكية – الفيزيائية)، والذي يتعامل مع القوة المؤثرة على الأجسام الحية سواء في حالـة السـكون أو الحركـة، وهـذه الحركـة قـد يكـون فـوق سـطح الأرض أو الكواكب، أو في وسط مائي أو في الفضاء .

وتعـني الميكانيكـا الحيويـة بأنهـا دراسـة السـلوك الحركـي في ضـوء القـوانين والمبادئ الفيزيائية العامة، وهي بهذا المفهوم تعتمد على طرق البحث في الفيزياء التقليدية وما توصلت إليه من طرق ووسائل في محاولة لتطبيق ما يمكن تطبيقيه على الجسم البشري .

كما أن فهم القوانين الميكانيكية يسمح أيضاً بإيجاد حلول جديدة للإعداد، على أن تكون الفترة التعليمية قصيرة، وإيجاد مقدرة سريعة وممتازة، ومن خلال التحليل الميكانيكي يمكن التوصل إلى حالات جديدة وملائمة لتطوير الأداء الفني ، وتحقيق مبدأ الاقتصاد بالجهد .

ويمثل الأداء الفائق للاعبي المستويات العليا مجالاً للدهشة والتعجب من هذا الإتقان والـذي يتعـدى مسـتوى التصـور والمعرفـة بطبيعـة الأداء البشـري، كمـا أن ملاحظة السلوك الحركي للأطفال وما يطرأ عليه من تطوير ذات درجات صعوبة عالية بسهولة ويسر في حين يعجز أو يتعثر الآخرون في أدائها .

ماهية الميكانيكا الحيوية

يطلق مصطلح " الميكانيكا الحيوية" كتعريف للمصطلح (الإغريقي) اليوناني biomechanics ويتكون هذا المصطلح من كلمتين يونانيتين هما " bio " ومعناها الحياة و" mechanics " ومعناها علم الميكانيكا. وعندما تتحدد دراسة الميكانيك بالأجسام الحية وبخاصة الجسم البشري يسمى البيوميكانيك (Biomechanics). ويعني (البيوميكانيك) العلم الذي يبحث في السكون والحركة النسبية للأجسام ونحن هنا سوف نستخدم مصطلح الميكانيكا الحيوية بدلاً من الكلمة اليونانية البيوميكانيك لأنه المصطلح الذي أصبح أخيراً يطلق على أي دراسة لأي علم يتعلق بحركة جسم الإنسان وقد لاقى تأييداً كبيراً ليصبح الاسم الجديد لهذه المادة .

لقد تمكن هذا العلم من أن يميز التربية الرياضية بالطابع العلمي والموضوعي من خلال إعطاءه الأدلة العلمية المقنعة للحركة الإنسانية وأسبابها ومساهمتها الفاعلة في تقديم وتطور الحركة الرياضية .

يعتبر علم الميكانيكا الحيوية في مقدمة العلوم التي تهتم بدراسة وتحليل الأداء الحركي الإنساني في إطار العوامل المؤثرة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة سواء كانت هذه العوامل بيولوجية أو فسيولوجية أو تشريحية أو عوامل اجتماعية، وبيئية ونفسية، أو عوامل تدريبية أو عوامل ميكانيكية، مستهدفا الوصول إلى أنسب الحلول الميكانيكية للمشاكل الحركية المطروحة للبحث والدراسة، وتعميم المعلومات المكتسبة حول فن الأداء الأنسب لألوان الأنشطة الرياضية المختلفة كل على حده، ووضع ذلك في صور أسس ثابتة للميكانيكا الحيوية، بما يخدم فن الأداء الرياضي الأنسب .

ويعتبر علم الميكانيكا الحيوية من العلوم التي تدرس القوانين العامة للحركة والتأثير الميكانيكي المتبادل بين الأجسام ، ويعتبر من أقدم العلوم نشأ وتطورا وذلك لتلبية المتطلبات العملية الخاصة في البناء والزراعة والصناعة ، وقد ترك الآشوريون والبابليون والمصريون والفينيقيون آثارا في ذلك والتي تدلل على أن الحضارة القديمة كانت على إلمام بأسس الميكانيكا ، وهو يعتبر في حقيقته علم تجريبي تطلب عصور طويلة وبذل فيه مجهود كبير لكي يحول إلى صيغة قوانين كانت أساسا لعلم الميكانيكا الحديثة. وكان الرائد الأول في ذلك هو العالم (أرسطو) حيث تناول حركة المشي والعدو ودراسة مركز ثقل الجسم وقوانين الروافع ، في عام (١٣١-٢٠١م) .

كما ساهم علم البايوميكانيك في تحسين التكنيك (الأداء الفني) للرياضي منذ منتصف القرن التاسع عشر والى وقتنا الحاضر وعلى ذلك نلاحظ أن للميكانيكا الحيوية أهمية كبيرة في تطوير المجال الرياضي وذلك من خلال :

١- تساعد في إيجاد الأجوبة القطعية المتعلقة بأفضل الطرق التكنيكية للرياضي وذلك لتحقيق الإنجازات العالمية .
٢- تعمل على اكتشاف أفضل الطرق الفنية للأنشطة الرياضية من خلال تجاوز الأخطاء .
٣- تساعد على معرفة مدى تحقيق التمارين البدنية لأهداف الأنشطة الرياضية
٤- زيادة قدرة الرياضي على تحليل حركاته الذاتية وحركات من حولة .

تعريف الميكانيكا الحيوية

ظهرت تعاريف كثيرة لاصطلاح " الميكانيكا الحيوية " وحاول المهتمين بها أن يعطوا تعريفا محددا لها كل حسب وجهة نظره ، نذكر منها ما يلي :-

١- هي الأسس الميكانيكية للنشاط العضلي البيولوجي ودراسة المبادئ والعلاقات المتواجدة .
٢- هي تطبيق القوانين الميكانيكية على الأجسام الحية وخاصة على الجهاز الحركي لجسم الإنسان .
٣- هي العلم الذي يدرس القوى الداخلية والخارجية المؤثرة على جسم الإنسان والآثار الناتجة عن هذه القوى .
٤- هي علم دراسة القوانين العامة للحركة الميكانيكية والتأثير الميكانيكي من خلال إيجاد التكنيك الأمثل .
٥- هي تفهم ودراسة حركات الإنسان وتحليلها تحليلاً علمياً .
٦- هي العلم الذي يهتم بدراسة وتحليل حركات الإنسان تحليلاً كمياً ونوعياً بغرض زيادة كفاءة الحركة الإنسانية .

وقد عرفة ويلز و لوجيز (١٩٧٦م) بانة ذلك الشكل في علوم الدراسة الحركة الذي يتعامل مع القوة المؤثرة على الأجسام الحية سواءً في حالة السكون أو الحركة .

وعرفة هانز بانة دراسة كل من تركيب ووظيفة الأجهزة البيولوجية من خلال نظريات الميكانيكا .

ويعرفه هوخموث (١٩٧٥م) البيوميكانيك بانة علم تطبيق القوانين والمبادئ الميكانيكية على سير الحركات الرياضية تحت شروط بيولوجية معينة .

ويعرفه ميلر ونيلسون (١٩٧٣م) بانة العلم الذي يبحث تأثير القوى الداخلية والخارجية على الأجسام الحية .

ومن خلال ما ذكر من التعاريف نجد أن بينها قاسم مشترك حول تحديد معنى الميكانيكا الحيوية يمكن صياغته على الشكل التالي :

الميكانيكا الحيوية هي العلم الذي يعنى بالحركة الإنسانية ودراستها وتحليل القوى الداخلية والخارجية المسببة لها من الناحيتين الميكانيكية والتشريحية من أجل زيادة كفاءتها .

أهمية دراسة الميكانيكا الحيوية

يمكن تلخيص أهمية دراسة الميكانيكا الحيوية بما يلي :-

١- تساعد الفرد على إتقان الحركات والمهارات الفردية الرياضية مما يوفر الكفاية في الحركة .
٢- عن طريق تطبيق المبادئ والقوانين التشريحية والميكانيكية في التدريب ولتهيئ الرياضي الذي يتوفر فيه المواصفات المطلوبة وحالة الاستعداد للوصول إلى مستوى الإنجاز .
٣- تعد المدرب والمدرس الجيد الذي يقوم بتعليم المهارات الحركية على أسس علمية سليمة .
٤- توفر للمدرب والمدرس القدرة على تقويم الحركات والمهارات الرياضية والتمرينات البدنية بأسس علمية يمكن الاستفادة منها لتصحيح الأخطاء مستقبلاً .
٥- دراسة هذه المادة ضرورية بالنسبة لمن يعدون أنفسهم للعمل في ميدان التربية الرياضية والعلاج الطبيعي .

أهداف الميكانيكا الحيوية في المجال الرياضي

١. تحسين الأداء الفني (التكنيك) :

أن تطبيق الميكانيكا الحيوية لتحسين الأداء الفني يتخذ اتجاهين :-

أما أن يستخدم المدرب أو المدرس المعلومات الميكانيكية لتصحيح أداء (عمل) الرياضي أو الطالب لكي يحسنوا تنفيذ المهارة .

وأما عن طريق إجراء البحوث (الميكانيكا الحيوية) لاكتشاف تكنيك جديد وأكثر تأثير لأداء المهارات الرياضية .

ففي الاتجاه الأول : يستخدم المدربون والمدرسون طريقة " التحليل البيوميكانيكي الكيفي Qualitative Biomechanical Analysis " في عمليات التدريب أو التدريس ليؤثروا على تغيير التكنيك .

وفي الاتجاه الثاني : يستخدم باحثوا الميكانيكا الحيوية " التحليل البيوميكانيكي الكمي Qualitative Biomechanical Analysis " لاكتشاف التكنيكات الجديدة ، ثم يعرضوها على المدربين والمدرسين لتطبيقها على لاعبيهم .

٢. تطوير واستحداث أدوات جديدة :

ساهمت الميكانيكا الحيوية أيضاً في تصميم الأجهزة والأدوات الرياضية، مثل تصميم الأحذية الرياضية الخاصة بالرياضات المختلفة، الجري ، العدو ، المشي ، السكواش ، كرة السلة ، وغيرها حيث يستند التصميم على وظيفتين امتصاص الصدمات ، والتحكم ، وغيرها من الأدوات التي ساهمت الميكانيكا الحيوية في تصميمها أو تطويرها .

وقد يكون لهذه الأدوات والمعدات تأثير مباشر على الأداء، أو عن طريق حماية اللاعب ومنع الإصابة – تأثير غير مباشر – وبجانب هذه الأدوات والمعدات التي ذكرت عالية ، هناك كثير من الرياضات تحتاج إلى أنواع معينة من الأجهزة التي تساعد على تطوير وتحسين من أسلوب التدريب وترفع من معدلات تطويره .

٣. تحسين التدريب :

سؤال آخر !! كيف للميكانيكا الحيوية أن تساهم في تحسين الأداء في الرياضة والأنشطة البدينة ؟ وماذا عن التدريب ؟

إن للميكانيكا الحيوية الزيادة الأولى في كيفية تعديل أو تطوير التدريب ليناسب تطوير الأداء. ويحدث هذا التطبيق للميكانيكا الحيوية بطرق عديدة .

إن تحليل الأداء والوقوف على العيوب أو مميزات التكنيك المستخدم من قبل الرياضي يمكن أن يساعد المدرب أو مدرس التربية البدنية على تعيين أو تحديد نوع التدريب الذي يحتاجه ويتناسب مع الرياضي لتحسين أداءه. فقد يكون العيب في نقص صفة القوة للاعب أو صفة التحمل مثلاً أو في مجموعات عضلية معينة ، أو في نقص سرعة الحركة ، أو في أداء اللاعب نفسه للتكنيك .

٤. منع (أو الوقاية من) الإصابة وعمليات التأهيل :

يعتقد البعض إن الهدف الثاني من دراسة الميكانيكا الحيوية في المجال الرياضي هو الوقاية من الإصابة أو منعها ثم الإسهام في عمليات التأهيل بعدها ولكننا نقول انه يجب أن يكون هذا الهدف هو الأول وليس الثاني .

فالدارسة والتحليل تؤدي إلى تعمق فهم المدربين ، المدرسين، وكذلك الممارسين بتفصيلات الحركات وبالطرق والأساليب الصحيحة لتعليمها وتأديتها وكيفية تطويرها، وبذلك يمكن تلاشى الأخطاء المؤدية للعديد من الإصابات المرتبطة ببعض المسابقات والأنشطة الرياضية. هذا بالإضافة إلى الإسهام في استحداث تدريبات وقائية من الإصابة بالنسبة لكل نوع من أنواع الأنشطة الحركية مثل التدريبات الوقائية أو المخففة لإصابة الركبة أو المفصل القدم أو إصابة مفصل المرفق، كما تساهم أيضاً في تحديد الأسباب والأوضاع التي تؤدي إلى وقوع الإصابة .

ونقول مرة أخرى إن الميكانيكا الحيوية يمكن أن تمدنا بالأساس لتعديل أو تغيير التكنيك ، الأدوات ، التدريبات ، لتوقي أو منع الإصابة وكذلك في عمليات التأهيل بعدها .

أغراض الميكانيكا الحيوية

يقول دنس كوي " أن التمارين البدنية هي الوسيلة الرئيسية الوحيدة لتحليل أغراض الثقافة البدنية، ولا يمكن – ممارستها ممارسة سليمة إلا إذا كانت قد بحثت من جميع الوجوه" ويتطلب التمرين البدني أساساً من علم الميكانيكا الحيوية إيجاد التكنيك الرياضي وتعليمه سواء في التدريب أو في درس التربية الرياضية. وعلى ذلك تحددت أغراض الميكانيكا الحيوية بالاتي :-

١- البحث في التكتيك الرياضي المثالي ويعنى ذلك (التحليل الميكانيكي البيولوجي لهدف الحركة الرياضية القائم بأمثل أسلوب) .
٢- تعميم المعلومات المكتسبة عن التكتيك المثالي لألوان الرياضات المتعددة وجعلها أسساً عامة للميكانيكا الحيوية، وخاصة ما يتصل منها بالاستخدام المناسب للقوى .
٣- إيجاد طرق سهلة لبحث الحركة الرياضية (الاختبارات الرياضية) لتساعد المدرس والمدرب في تحديد الأخطاء واكتشافها موضوعياً أثناء الحركة الرياضية .
٤- تقييم التمارين البدينة على أساس مدى تحقيقها لأغراض التربية الرياضية عن طريق تحليل بعض التمارين الخاصة التي يمكن بواسطتها أن تزداد وتنمو عناصر اللياقة العامة والخاصة – مثل القوة والسرعة والقدرة وسرعة رد الفعل – والتي تساعد في تعليم التكنيك الرياضي وذلك من الناحيتين الميكانيكية والبيولوجية .
٥- التحليل الميكانيكي البيولوجي للتمارين البدنية الخاصة بأنواع الرياضة في المدارس الابتدائية يهدف في إيجاد التمارين المناسبة لتعليم التكنيك .

وتعمل الميكانيكا الحيوية كذلك على اتساع معلوماتنا التشريحية والفسيولوجية لأنها تكشف وتفسر لنا الارتباطات والعلاقات القائمة بين شكل جسم الإنسان الذي هو جهاز الحركة وبين وظائفه وما حركة الإنسان إلا انعكاساً لسير بعض العمليات في جهازه العصبي المركزي – ولذلك فإن الأبحاث الميكانيكية البيولوجية العميقة لحركات الإنسان – التي هي كما أسلفنا مدى لعمليات الجهاز العصبي المركزي – تساعد على إمكانية التفهم السليم لسلسلة المظاهر الفسيولوجية الخاصة بهذه العمليات العصبية العليا. ولسوف يقودنا ذلك بالتالي إلى دراسة الفروق بين الحركات في بداية العمل وعند حلول التعب. وكذلك أثناء اكتساب المهارات وأداء الحركة أوتوماتيكياً .

ومن ناحية أخرى سوف تخلق هذه الدراسات للميكانيكا الحيوية بين المربين والمدربين والرياضيين مجالاً لتداول المعلومات الرئيسية الخاصة بحركات الإنسان. كما ستساعدهم على رفع المستوى النظري لنشاطهم العملي. وتساهم أيضاً في فهم وتوضيح التمارين والاصطلاحات الخاصة بالمسافة والزمن والحركة والقدرة والطاقة... الخ. وأخيراً في تحديد العلاقة بين حركة أجزاء الجسم منفردة أو مع بعضها .

أنواع الميكانيكا الحيوية

أولاً : الميكانيكا الحيوية العامة :

يدرس هذا النوع المبادئ والقوانين والأسس الميكانيكية والتشريحية وطرق تطبيقها على الألعاب والتمارين والفعاليات الرياضية المختلفة. فالمدرب أو المدرس أو الرياضي الذي يمتلك خلفية عامة عن طبيعة القوانين الميكانيكية وأثرها على حركة الجسم البشري يكون أكثر قدرة على تحصيل وتطوير التكنيك المثالي في الألعاب الرياضية. كما أن المعرفة العامة بالأسس التشريحية وميكانيكيتها تمكن العاملين في الوسط الرياضي من معرفة الوضع العضلي والمفصلي الصحيح الذي يساعد على سهولة الأداء الحركي المثالي، كما أنها تمكن من تفهم نقاط القوة والضعف عند الرياضي مما يساعد في العمل على معالجتها.

ثانياً : الميكانيكا الحيوية التطبيقية :

إن الفعاليات الرياضية مختلفة ومتشعبة وليس بالضرورة تعميم القوانين التشريحية والميكانيكية على جميع الفعاليات الرياضية المختلفة بشكل متساوي. فبعض الفعاليات تستوجب مساهمة عضلة أو مجموعة عضلية في زاوية تختلف عن استخدامها في فعاليات أخرى. لذلك فإن الضرورة تستوجب من المهتمين في التربية الرياضية أن يطبق كل ما تعلموه من علوم وقوانين خاصة بالتشريح والفيزياء والفسلجة على فعالية معنية. وذلك من خلال معرفة القوانين التشريحية والميكانيكية التي هي من المتطلبات الضرورية لنجاح أي مدرب أو مدرس يعمل في الحقل الرياضي وكل مدرب يركز على فعاليات معينه أو الفعاليات الأقرب للاختصاص ويطبق كل المبادئ والأسس التشريحية والفيزيائية .

ثالثاً : الميكانيكا الحيوية العلاجية :

تستخدم في هذا النوع العلوم التشريحية والفيزيائية كعلاج لمشاكل جسمية خاصة. لذلك فمسألة فهم الإصابات الرياضية والحالات التي سببها خلل عضلي وكيفية معالجتها ضروري بالنسبة للعاملين في المجال الرياضي. فعلى سبيل المثال نجد أن أسباب آلام الظهر وخاصة في المنطقة القطنية هو خلل في التوازن العضلي أثناء أداء العمل .

أقسام الميكانيكا الحيوية

ويمكن تقسيم علم الميكانيكا الحيوية ، كما هو موضح بالشكل التالي إلى فرعين أساسيين :

أولاً : الميكانيكا الحيوية العامة :

وهي تقوم بدراسة القوانين الأساسية التي تحكم حالة الجسم من السكون والحركة ، وبهذا فهي تشمل فرعين رئيسيين هما الإستاتيكا والديناميكا :

أ- *الإستاتيكا* : هو العلم الذي يختص بتحليل واتزان القوى المؤثرة على الأعضاء المختلفة أثناء حالتي السكون أو الحركة بسرعة منتظمة .

ويعني انه العلم الذي يبحث في سكون الحركة واتزان الأجسام تحت تأثير القوى أو هو علم السكون، أو الفرع الذي يهتم بدراسة الأنظمة التي تكون في حالة من الحركة الثابتة ، أي أنها تعنى بالأجسام سواء كانت في حالة ثبات أو في حركة منتظمة (ذات سرعة ثابتة) .

ب- *الديناميكا* : هو العلم الذي يهتم بدراسة الأنظمة في حركتها ، أي بمعنى أنها تعنى بالأجسام المتحركة بعجلة ما سواء تزايديه أو تناقصية أو الاثنين معاً .

أي هو العلم الذي يبحث في الحركة ودراسة مقوماتها وتنقسم داخلياً إلى :

١- **الكيناتيك** Kinetics :

هو العلم الذي يدرس الحركة وعلاقتها بالقوى المسببة لها .

يهتم الكيناتيك Kinetics بالدراسة المباشرة للقوى التي يبذلها جسم الإنسان أو القوى التي تقع عليه ، وعادة يتطلب استعمال أجهزة قياس تحويلية للقوة ، وذلك لتحويل القوى إلى إشارات قابلة للقياس ، وهذا بسيط فيما يتعلق بالقوى الخارجية التي يولدها الجسم البشرى أو أي أجسام أخرى ، وغالباً ما نستعمل وسائل كمنصات قياس القوة وبدالات قياس القوة والدينامو مترات لكي نطلع على كافة القوى في الحركة البشرية .

وعلى أية حال فإنه قياس القوة التي تتولد داخل جسم الإنسان (عادة بواسطة العضلات) يكون قياسها أكثر صعوبة ، إذ يتطلب القياس المباشر لهذه القوة تدخلاً جراحياً لتوصيل جهاز قياس تحويلي للقوة بالعضلات (أو بالأوتار) ، وهذه الطريقة معترف بها في الدراسات الحيوانية ألا أن جماعة واحدة حاولت استخدامها على البشر بتوصيل جهاز قياس تحويلي أي إبر بالوتر الكعبي عند الإنسان ، وهناك اعتبارات أخلاقية واضحة فيما يتعلق بهذا النوع من العمل بغض النظر عن صعوبة العثور على متطوعين لإجراء البحث .

٢- **الكينماتيك** Kinematics :

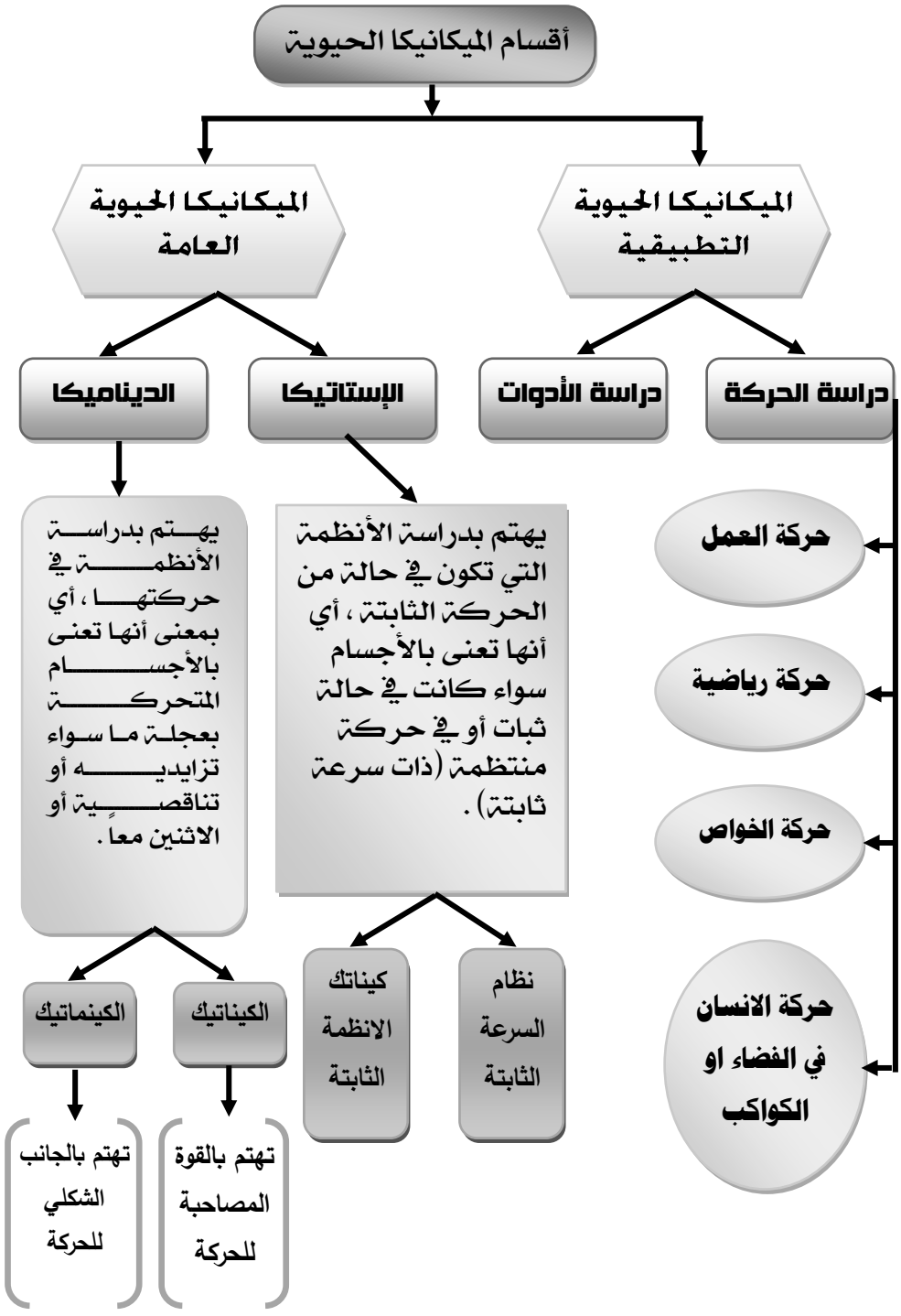
وهو علم وصف يصف الحركة وصفاً مجرداً دون التعرض للقوى المسببة لها .

ويختص علم الكينماتيك Kinematics بقياس التغيرات التي تطرأ على الحركة والتي تسببها كل من القوى ، ولكن ببساطة يسعى إلى تسجيل معلومات موضوعية وزمنية دقيقة عن حركة جسم الإنسان في الفراغ ومن هذين المتغيرين يمكن حساب قياسات أخر كالسرعة والتغير في السرعة .

ثانياً : الميكانيكا الحيوية التطبيقية :

وهي تهتم أساساً بالتالي :

١- تحسين الحركة : وهذا له أهمية في ميادين التأهيل الطبي والمهني والفني والرياضي .
٢- تحسين الأدوات : وذلك حتى تتناسب مع قدرات الإنسان التشريحية ومن خلال هذا التقسيم يتضح أن علم الميكانيكا الحيوية له جوانب متعددة تقتضي التعاون بين الخبراء في التخصصات المختلفة حتى يمكن التوصل إلى أنسب الحلول للمشاكل المتعلقة بحركة الإنسان .


أقسام الميكانيكا الحيوية
الميكانيكا الحيوية التطبيقية
الميكانيكا الحيوية العامة
دراسة الحركة
دراسة الأدوات
الإستاتيكا
الديناميكا
حركة العمل
حركة رياضية
حركة الخواص
حركة الانسان في الفضاء او الكواكب
يهتم بدراسة الأنظمة التي تكون في حالة من الحركة الثابتة ، أي أنها تعنى بالأجسام سواء كانت في حالة ثبات أو في حركة منتظمة (ذات سرعة ثابتة) .
يهتم بدراسة الأنظمة في حركتها ، أي بمعنى أنها تعنى بالأجسام المتحركة بعجلة ما سواء تزايدية أو تناقصية أو الاثنين معاً .
نظام السرعة الثابتة
كيناتك الانظمة الثابتة
الكيناتيك
الكينماتيك
تهتم بالقوة المصاحبة للحركة
تهتم بالجانب الشكلي للحركة

مبادئ الحركة في الميكانيكا الحيوية

إن الحركة من جهة نظر الميكانيكا تتم عندما يغير الجسم مكانه خلال فترة زمنية ، أو شرح هذا التغير في المكان والزمان ، ووصفه يتم بقياس المسافة والزمن وما ينتج عنهما (السرعة والتعجيل) اللتان يمكن قياسهما .

والحركة تعني محاولة للتغلب على القصور الذاتي من خلال قوة ذاتية وقوة خارجية لينتقل الجسم من مكان إلى آخر أو جزء منه بسرعة معينة ، فدوران الجسم حول العقلة يتم باستخدام سرعة ما تحدث نتيجة لانقباض مجموعة عضلية تتغلب على مقاومات مختلفة تنتج عنها حول العقلة بحركة دائرية ، لذا فهي الوسيلة الوحيدة لإنجاز النشاط الحركي .

مثل توضيحي :-

إن لاعب الجلة بعد انتهائه من أداء الرمية ينتظر الحكم ليعلن عن مسافة الرمية ، كذلك عداء ١٠٠م بعد انتهائه من قطع المسافة ينظر إلى لوحة التسجيل ليرى الزمن الذي حققه ، أما لاعب رفع الأثقال (الرباع) والذي يقوم برفع الثقل فوق رأسه . ويحتفظ بهذا الوضع حتى يقرر القاضي صحة أو عدم الرفعة ثم يهبط بالثقل لأسفل .

هذه الأمثلة الثلاثة تبين أبعاد أساسية تستخدم في الميكانيكا وهي : المسافة (الطول) Length ، الزمن Time ، الكتلة Mass ، فواحدة من هذه الأبعاد تقاسٍ لتقرر الأداء ، فالمسافة للاعب الجلة ، والزمن للعداء والكتلة لرافع الأثقال وفقا للأمثلة السابقة .

كذلك تؤثر المهارة على هذه الأبعاد الأساسية أيضاً ، فإن زمن عدو ٢٠٠م يختلف عن زمن عدو ١٠٠م ، أي أن مسافة العدو تؤثر على الزمن المنقضي لقطع هذه المسافة ...وهكذا ، كما أن كتلة الجلة تؤثر على مسافة الرمي . وفي رفع الأثقال ، فإن زمن بقاء الثقل مرفوعا فوق الرأس (الاحتفاظ بالثقل في وضع ثابت بعد إتمام الرفعة فوق الرأس) يحدد مقدار الكتلة التي يستطيع اللاعب رفعها .

مما تتقدم نجد أن الحركة تتم وفق نظام حسابي محدد يمكن قياسه ومعرفته من ثلاث كميات ميكانيكية هي :

١. **الزمن** : وهو الفترة التي يستغرقها الجسم في حركته ، وهي كمية قياسية قابلة للقياس .

٢. **الفـــراغ** : هـو المسـافة أو الحجـم المشـغول مـن قبـل الجسـم والمسـافة أو الزاوية التي يقطعها الجسم .

٣. **المادة** : هي كل شيء يشغل حيزاً في الفراغ .

- ***الزمن والحركة*** :

إن الحركة لأي جسم أو جزء منه للانتقال من مكان إلى آخر أو لقطع إزاحة معينة فإن ذلك لا يتم في اللحظة نفسها وإنما بعد مرور فترة زمنية وإن كانت قصيرة جداً ، ولكن يمكن التعبير عنها بوحدات الزمن ، فالوحدة الخاصة لقياس الفترات الزمنية هي الثانية أو الدقيقة أو الساعة .

الزمن ويعد معياراً للتفاصيل بين حركة الأجسام من حيث السرعة أو قطع إزاحة معينة ، لمعرفة أي الأجسام أسرع في ركض ١٠٠ متر أو في ٤٠٠ متر هو استخدام وحدات الزمن ، فيقال إن العداء (س) أسرع من (ص) ، لكن التفاصيل بينهما هو في أيهما قطع المسافة بأقل زمن ممكن .

- ***الحركة والفراغ*** :

إن حركة أي جسم هو انتقال في الفراغ ليشغل حيزاً جديداً بغية أداء عمل معين ، وعملية الانتقال من نقطة إلى أخرى يعبر عنها بالمسافة التي تقاس بوحدات الأطوال (متر ، قدم ..الخ) ، والمسافة التي يقطعها واثب الثلاثية أفقياً تقاس بوحدات الأطوال ، وهي الهدف المبيت من الفعالية ، وكذلك ارتفاع قافز الزانة أيضاً ، لكن المسافة التي يقطعها لاعب الجمباز على العقلة تقاس بوحدات الزاوية أي عندما يتحرك الجسم حول محور معين وتسمي مسافة زاوية .

- ***المادة والحركة*** :

إن كمية المادة التي يحتويها جسم هي مقياس للكتلة ، والكتلة كمية قياسية ثابتة لا تتأثر بالارتفاع أو الانخفاض عن مستوى سطح البحر ، فالجسم الذي يزن ١٠٠ كغم على سطح الأرض يبقي وزنه هو نفسه حتى لو ارتفع ٢٠،٠٠٠ قدم .

فالكمية تعبر عن مقدار القصور الذاتي للجسم ، أما الوزن فهو كمية متجهة ، أي يعبر عن مقدارها واتجاهها ، ويختلف وزن الجسم من موقع إلى آخر ، ففي القطب الشمالي يختلف الوزن عن وزن الجسم نفسه على خط الاستواء ، كما يختلف الوزن بارتفاعه وانخفاضه عن مستوى سطح البحر (نقطة نسبية)فإن الفرق

يأتي نتيجة اختلاف قوة الجذب الأرضي التي تزداد عند سطح البحر عنه في المرتفعات العالية . لذا فالوزن هو مقدار قوى الجذب الأرضي المؤثرة في ذلك الجسم ، لذا فالعلاقة بين الوزن والكتلة طبقاً لقانون نيوتن الثاني هي :

إن العلاقة بين المادة والحركة علاقة كبيرة جداً من حيث إحداث الحركة لاسيما أن مسببات حدوث الحركة هي القوة ، فلتحريك جسم له كتلة معينة يتطلب الأمر مقداراً معيناً من القوة لأن مقدار الحركة يتوقف على كمية المادة التي يحتويها ذلك الجسم الذي ازداد قصوره الذاتي ، ومن ثم يحتاج إلى قوة كبيرة لتحريكه أو التغلب على القصور الذاتي . أما وحدات القياس فلها نظامان هما النظام الانكليزي والنظام المتري. والموضحة في الجدول التالي :

يوضح وحدات القوة (الوزن) الكتلة والتعجيل			
نظام الوحدات	القوة	الكتلة	التعجيل
النظام	ياوند	سلاك	قدم/ث٢
الانكليزي	نيوتن	كيلو غرام	متر/ث٢
النظام المتري	داين	غرام	سنتمتر/ث٢

- **الطول (المسافة)** *Length*

واحداً من أهم الأبعاد التي سوف تستخدمها هو بعد الطول (المسافة) فإننا نحتاج كثيرا لقياس بعض الأطوال أو المسافات لوصف اللاعب في الملعب مثلا ، أو كم من المسافة جري . وعليه يستخدم الطول (أو المسافة) لوصف الفراغ أو الحيز الذي تمت أو حدثت فيه الحركة .

ويعتبر قياس الأطوال أيضاً من الأبعاد الأساسية في كثير من الرياضيات الأخرى ، مثل مسافة دفع الجلة ، ارتفاع الوثب العالي ، مسافة الوثب الطويل ....الخ

- **الزمن** *Time*

يعتبر الزمن من الأبعاد الأساسية الأخرى التي يمكن أن تستخدم لوصف الحركة الرياضية ، كما أنه الكمية الوحيدة التي تتغير بانتظام وباستمرار دون الارتباط بأية كمية أخرى ، والزمن من الأبعاد الهامة للأداء في كل الرياضات .

- **الكتلة والقصور الذاتي** *Mass and Inertia*

كثيراً ما نرى في بعض الرياضات التي تحتاج إلى أجسام كبيرة ضخمة إن يجد اللاعب صعوبة في بداية تحركه ، كما يلاقي نفس الصعوبة في نهاية حركته أو عند التوقف ، ويطلق على الوصف السابق في الميكانيكا خاصية القصور الذاتي وتعني أن للأجسام خاصية تقاوم التغير في حركتها .

نضرب مثلاً : يكون بداية التحرك أصعب أم نهايته (التوقف) ؟ لاعب الجلة أم لاعب الجمباز ؟ من الواضح تماماً أن لاعب الجلة أصعب في حركته من لاعب الجمباز، لان قصور الذاتي أكبر فالأجسام الضخمة لها قصور ذاتي أكبر من الأجسام الأقل منها، ومن الواضح والصحيح أن الأجسام الأثقل وزناً لها قصور ذاتي كبير ، ولكن قياس القصور الذاتي لا يتم عن طريق الوزن ، ولكن عن طريق الكتلة ، فالكتلة هي التي تحدد القصور الذاتي وتقيسه ، أما الوزن فأنه يقيس قوة الجاذبية العاملة على هذا الجسم .

الوحدات في كلا النظامين

الوحدة	النظام المتري	النظام الإنجليزي
الطول	سنتيمتر	البوصة
	متر	القدم
	كيلو متر	الميل
المساحة	المتر المربع	القدم المربع
الحجم	السنتيمتر المكعب	Quart
الكتلة	كيلو جرام	سلوج ٣٢ باوند
القوة	نيوتن	باوند
الزمن	ثانية	ثانية

مجالات الميكانيكا الحيوية

ويمكن القول بأن المجال الرئيسي للميكانيكا الحيوية هو البحث في القواعد والشروط التي يمكن لقوى الإنسان أثناء حركته أن تقوم فيها بعمل نافع ومنتج. وليس من شك أنه بالإمكان معرفة نتيجة الحركة وحصيلتها وكذا التنبؤ بها في ظروفها المختلفة إذا توافرت المعرفة الدقيقة والدراسة العميقة لقواعد الحركات، كذلك يمكن اكتشاف الأخطاء في سير الحركة وتلافي أسبابها مما يحقق التوافق في سير الحركة والوصول بها إلى الهدف المنشود على أكمل وجه .

أولاً : مجالات الميكانيكا الحيوية الخارجية هي :

١- التحديد الكمي لتغيير وضع أو مكان الجسم البشرى أو أداة رياضية أثناء المسارات الحركية بالاستعانة بمقاييس بيوكينماتيكية وغيرها .

٢- تحديد كمي لكل ظروف وأسس تغيير وضع ومكان الجسم، والتي تظهر كرد فعل لقوى العضلات التي تعمل لتدعيم هذا الجسم .

٣- ومن الممكن أن تكون ردود الأفعال هذه عبارة عن مجموع آثار القوى الناتجة عن مسارات الانقباضات العضلية عند العمل العضلي الاكسوتونى والتي يتم قياسها في الأطراف .

ثانياً : مجالات الميكانيكا الحيوية الداخلية هي :

١- التحديد الكمي لقوى العضلات الديناميكية والاستاتيكية بطريقة غير مباشرة بمساعدة قوى انعكاسية وقوانين طبيعية .

٢- تحليل التوجيه الحركي (على سبيل المثال التحليل الالكتروميوجرافي لتوقيت وتنبيه المجموعات العضلية) .

وبالاختصار يمكن القول بأنه من الممكن تحديد وضع ومكان الأنظمة الحركية (الرياضي أو أداة رياضية) بمساعدة وسائل قياس الميكانيكا الحيوية بدقة نسبياً. ومما هو جدير بالذكر أنه يمكن تحديد محتوى الميكانيكا الحيوية الخارجية تحديداً واضحاً، وعلى العكس من ذلك فلا يمكن وضع حدود واضحة للميكانيكا الحيوية الداخلية .

الفصل الثاني

- مفهوم علم الحركة.
- ماهية الحركة.
- تعريف علم الحركة.
- أهمية دراسة علم الحركة.
- مجالات علم الحركة.
- الحركات الأساسية في جسم الإنسان.
- مستويات ومحاور الحركة.
- خصائص الحركات الرياضية.
- أنواع الحركة.
- مفهوم أبعاد الحركة.
- المحاور الإحداثية أو النظام الإحداثي

مفهوم علم الحركة

تخضع جميع حركات الأجسام المادية بلا استثناء بما فيها الإنسان والحيوان لقوانين الميكانيكا ، والمقصود بعلم الحركة هو دراسة الحركة الإنسانية من وجهة نظر العلوم الطبيعية ، فدراسة حركة الجسم الإنساني تعتمد على ثلاث ميادين دراسية هي علم الميكانيكا وعلم التشريح وعلم وظائف الأعضاء ، ومعظم الدراسات الخاصة بعلم الحركة تعتمد أساساً على علمي الميكانيكا والتشريح بجانب دراسات منفصلة عن فسيولوجية عمل العضلات والتي تغطي جزء كبير من الجانب الثالث ألا وهو علم وظائف الأعضاء حيث أن هناك مفاهيم فسيولوجية معينة لا يمكن تجاهلها عند تدريس مادة علم الحركة .

والأسس الميكانيكية لا تطبق فقط على حركة الجسم الإنساني بل تطبق كذلك على حركة الأداة المستخدمة مثل الكرة والمضرب، والرمح والجلة والقرص إلى آخر الأدوات التي تستخدم في الأغراض الرياضية .

ماهية الحركة

الحركة هي التغير المستمر في وضع الجسم بالنسبة لجسم آخر نفترضه ثابتاً وهي عكس السكون حيث يمكن مشاهدة أو رؤية الجسم المتحرك بالعين المجردة.

فالحركة بوجه عام هي انتقال جسم أو دورانه في المكان لقطع مسافة معينة في زمن معين، والحركات الرياضية هي انتقال أو دوران أجزاء الجسم في المكان لقطع مسافات مختلفة في أزمنة مختلفة لتحقيق هدف معين للحركة ويجب أن يكون للحركة مستوى معين بمعنى أنها تتقيد بطريقة أداء خاصة .

يذكر جيمس هاي (١٩٧٨) في تعريفه للحركة بأنها (تعني التغيير المكاني أو الوصفي بالمقارنة مع بعض النقاط أو العلامات الدالة) .

فالحركة لا يمكن أن تحدث دون سبب، بل إن لكل حركة في الكون مهما كانت صغيرة أو كبيرة من سبب. وقد أشار الطالب (١٩٧٦) (عدم حدوث الحركة من دون القوة ولكن العكس غير صحيح حيث يمكن أن تعمل القوة من دون حدوث حركة) .

إن معرفة وقوع الحركة يتطلب وجود شروط هي :

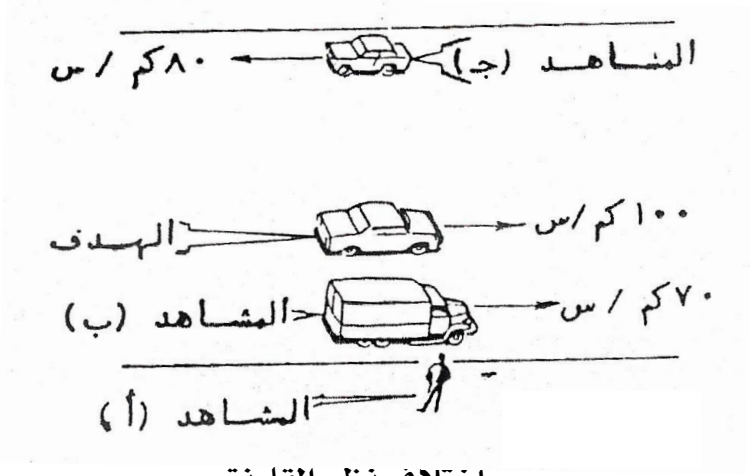
١. لا يمكن تصور وقوع الحركة لجسم ما دون سبب أو قوة .
٢. يجب أن تكون القوة المسلطة على الجسم أكبر من قصوره الذاتي .
٣. وجود نقطة أو علامة دالة لغرض مقارنته مع الجسم المتحرك .

ولا يمكن تصور حدوث مثل تلك الحركة – التغير في المكان – إلا بالمقارنة النسبية بجسم آخر. وعلى ذلك فالمسافر بالطائرة مثلاً، لا يكون في مقدوره تقدير سرعة الطائرة (سرعة الطيران) إذا كانت تحلق على ارتفاع عال جداً، بحيث لا يتمكن المسافر من مقارنتها بالأرض لانعدام رؤيتها، لأن هذا المسافر تنقصه في الحقيقة نقاط المقارنة، التي يمكنه بها تحديد المسافة التي تقطعها الطائرة في وحدة الزمن .

وبناءً على ذلك، فإن حدوث حركة معينة من الحركات يكون مختلفاً في تصور مساره، وذلك باختلاف المشاهدين له كأجسام للمقارنة. ويلاحظ أن المشاهد يتخذ الأجسام الثابتة كطرف للمقارنة، ويختار عن طريق ذلك نقطة البدء (نقطة المقارنة) حيث يتمكن عن طريق ذلك من تحديد الاتجاه للجسم المتحرك .

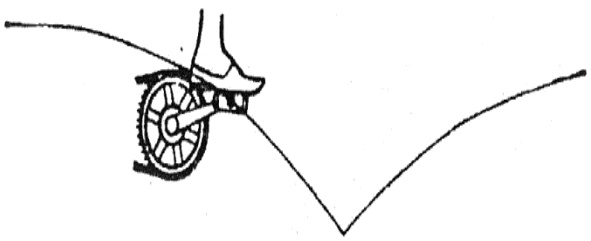
ففي الشكل أدناه هناك ثلاثة مشاهدين (أ)، (ب)، (ج) يلاحظون حركة واحدة في طريق للسيارات، هي حركة سير سيارة ركاب فوق الطريق بسرعة (١٠٠ كم/س). وعلى ذلك فإن المشاهد (ب) يتصور من موقعه داخل سيارة النقل إن سرعة الحركة أقل من حقيقتها (٣٠ كم/س)، وذلك لأن سيارة النقل تنطلق فوق الطريق بسرعة قدرها (٧٠ كم/ س) وفي نفس اتجاه حركة الجسم المشاهد، ومن ناحية أخرى نجد أن المشاهد (ج) يتصور السرعة أكبر مما هي عليه حقيقة (١٨٠ كم/س)، وذلك لأن سيارته تنطلق على الطريق نفسه بسرعة (٨٠ كم/ س)، وفي الاتجاه المضاد (المعاكس) لحركة الجسم المشاهد، ولا يتمكن من تبين السرعة الحقيقية للجسم المتحرك إلا المشاهد (أ) والذي يقف في وضع ثبات فوق سطح الأرض، حيث يتمكن وحده من تسجيل سرعة سيارة الركاب على أنها (١٠٠ كم/ س)

إن اختيار نقطة المقارنة النسبية لا يعتبر هاماً بالنسبة لمقدار السرعة الملاحظة فقط، وإنما يعتبر هاماً أيضاً بالنسبة للمسار الهندسي الخاص بالحركة المسجلة .



اختلاف نظم المقارنة

وتعتبر حركة القدم لمتسابق الدراجات – بشكل عام – حركة دورانية إلا أن المرء لا يرى هذه الحركة على أنها حركة دورانية إلا إذا كان يتحرك بنفس السرعة بمحاذاة حركة المتسابق بالدراجة فقط، أما بالنسبة للشخص الذي يشاهد تلك الحركة من مكانه على جانب الطريق، فإنه يصف حركة القدمين بأنها حركة في أقواس (حركة قوسيه).



مسار قدم متسابق الدراجات (قوسيه)

وهكذا فإنه من الضروري تحديد نقطة المشاهدة النسبية تماماً قبل القيام بوصف أي مسار لحركة من الحركات، وذلك لأن الحركات أمر نسبي، ومعنى هذا إنها تتوقف وترتبط ارتباطاً وثيقاً بنقطة المشاهدة النسبية، وتختلف باختلافها. والقول بأن حركة ما أمر مطلق دون مراعاة نقطة المشاهدة النسبية، معناه أن الحركة لا معنى لها.

تعريف علم الحركة

ولقد وردت في المراجع العلمية عدة تعاريف لعلم الحركة منها :

- علم الحركة هو ميدان دراسة القوانين والمبادئ المتعلقة بحركة الجسم الإنساني بهدف الوصول إلى الكفاءة الحركية .
- وبأنه العلم الذي يبحث في الشكل الخارجي لسير الحركة .
- وبأنه العلم الذي يبحث في الشكل أو التكوين المورفولوجي للحركة .
- وبأنه ميدان دراسة القوانين والمبادئ المتعلقة بحركة الإنسان بهدف الوصول إلى الكفاية الحركية .

وبأنه العلم الذي يقوم بدراسة الأداء الحركي للإنسان بغرض الوصول بالأداء إلى أعلى مستوى تسمح به إمكانات وطاقات البشر .

وهناك تعاريف كثيرة لهذا العلم ، يمكننا إجمالها بالتعريف التالي :

علم الحركة هو" العلم الذي يبحث في شكل وأداء وانتقال وسريان وتعلم وتطور وجمال حركات الإنسان المختلفة ليس فقط منذ ولادته وحتى شيخوخته، ومنذ الخليقة وحتى يومنا هذا ... وعلى مر العصور" .

أهمية دراسة علم الحركة

دراسة علم الحركة ضرورة لازمة لمعلمي ومدرسي التربية الرياضية ولا يمكن الاستغناء عنه فهو جزء رئيسي لتنمية خبراتهم التعليمية ويتضح كذلك أهمية دراسته للمدربين وللرياضيين لما له من أثر بارز على الارتفاع بمستوى الأداء وتطوير الإنجاز .

مجالات علم الحركة

يتسع علم الحركة ليشمل جميع المجالات الرياضية وجميع الحركات الرياضية وفيما يلي نتعرض لبعض المجالات التي يهتم بها هذا العلم ، ويمكن أن نطلق على هذا العلم علم الحياة ، حيث يوجد هذا العلم أينما توجد الحياة وبذلك توجد الحركة وأول هذه المجالات .

١- مجال دراسة الحركات الرياضية :

يهتم علم الحركة اهتماماً بالغاً بدراسة الحركات الرياضية، وزاد هذا الاهتمام حينما اشتد الصراع في اللقاءات الدولية. وحينما تحول الصراع إلى استعراض للمستوى العلمي الذي وصلت إليه الدول المتنافسة في مجال الرياضة، ونلاحظ أنه كلما زاد الصراع بين الدول في المجال الرياضي كلما اندفع الباحثون نحو دراسات أعمق للحركة الرياضية لتقنين جميع العوامل التي تؤثر على مستوى أداء الفرد، وتأثير القوى المختلفة سواء كانت هذه القوى الداخلية أو الخارجية أو التأثير المتبادل بين القوى الداخلية والخارجية وتأثيرهما في دراسة الحركة الرياضية.

٢- المجال الطبي (التأهيل المهني) :

اتجه علم الحركة أخيراً إلى الميدان الطبي حيث ساهما في تشخيص بعض حالات الانحراف في القوام وتحديد الحركات السوية للإنسان وبالتالي معرفة نواحي القصور أو العجز كما ساهما في تحديد المهام الحركية الواجب توافرها عند تصنيع الأطراف الصناعية التي تساعد في تحليل حركات الخواص والمساهمة في وضع برامج لتأهيلهم والمشاركة في علاجهم.

٣- مجال الصناعة والإنتاج :

تمشياً مع ظروف واحتياجات العصر الحديث فقد دخل علم الحركة ميدان الصناعة والإنتاج حيث اهتما بدراسة وتحليل الحركات المهنية وطبيعة حركة العامل ومدى توافقها مع طريقة تشغيل الآلة، ومحاولة إيجاد أعلى توافق بين حركة العمل وأسلوب تشغيل الآلة بهدف تحقيق أفضل مستوى لتشغيل الآلة بأقل جهد ممكن من العامل.

٤- مجال التطور الحركي للإنسان :

وفي هذا المجال يقوم علم الحركة بدراسة تطور حركة الإنسان منذ الولادة وحتى الشيخوخة أي دراسة المميزات الحركية لكل مرحلة سنية يمر بها الإنسان.

٥- مجال الحركة في الفراغ :

مما لا شك فيه أن علماء الفراغ حين قرروا إرسال إنسان إلى الفراغ بعيداً عن الجاذبية الأرضية وعندما فكروا في إنزال إنسان على سطح القمر لابد أنهم فكروا وقاموا بدراسة حركة الإنسان حين ينعدم الوزن أو حينما يسير على القمر وتبلغ جاذبيته ربع الجاذبية الأرضية ويساهم علم الحركة في دراسة وتحليل حركة الإنسان في أي مكان وتحديد العوامل المؤثرة عليها سواء في الفراغ أو في أي مجال آخر .

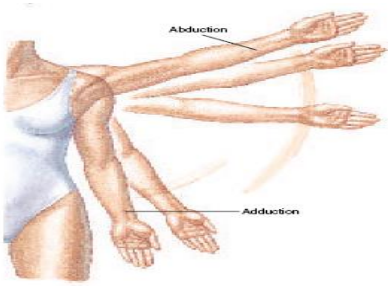
٦- مجال التعلم الحركي :

من المعروف أن الدراسات التي تهتم بطريقة تعلم المهارات الحركية هي مجال مشترك بين علم النفس وعلم الحركة هذه الدراسات تهتم بالعوامل التي تساعد على التعلم الحركي. كما تهتم بالمراحل التي يمر بها الفرد أثناء تعلمه للمهارات الحركية. وهدف هذه الدراسات هو إيجاد تصور صحيح لدى المعلمين والمدربين للمراحل التي يمر بها التلميذ أثناء تعلمه لأحدى المهارات الحركية وخصائص كل مرحلة وواجبات المعلم أثناء كل مرحلة .

الحركات الأساسية في جسم الإنسان

إن جسم الإنسان بحكم تكوينه وتركيبه من الناحية التشريحية فان الجهاز الحركي (العضلي) هو المعنى بشؤون حركة أجزاء الجسم بمختلف أنواعها ، فنجد أن كل جزء من هذه الأجزاء يسمح بحركات خاصة تتفق مع طبيعة المفصل الذي تتم فيه الحركة وبشكل عام يمكن توضيح الحركات الأساسية التي تتم في جسم الإنسان على النحو التالي :-

الحركات الأساسية في جسم الإنسان

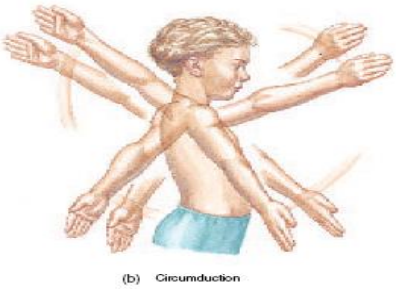


- **التبعيد Abduction**

هي عملية تحريك جزء الجسم بالاتجاه البعيد عن الخط الممثل لمنتصف الجسم .

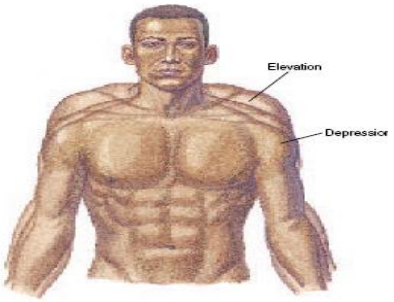
- **التقريب Adduction**

هي عملية تحريك جزء الجسم باتجاه الخط الممثل لمنتصف الجسم .



- **الحركة الدورانية Circumfusion**

يقصد بحركة الدوران إن الجزء المتحرك يرسم اثنا حركته دائرة وتشمل هذه الحركة مجموعة حركات كالثني ، التبعيد ، المد والتقريب.

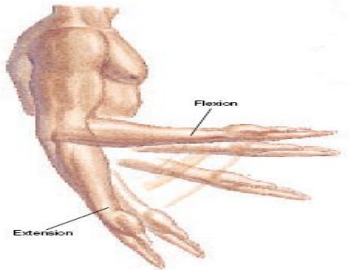


- **الخفض Depression**

هي عكس عملية الرفع أي خفض جزء الجسم إلى الأسفل.

- **الرفع Elevation**

هي رفع جز من أجزاء الجسم إلى الأعلى .



- **الثني Flexion**

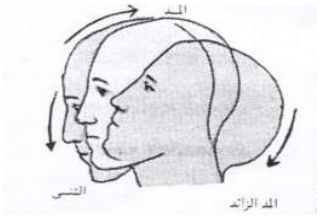
ويقصد بالثني تقريب العظميين المتحركين من بعضهما.

- **المد Extension**

هي إبعاد العظام المتحركة بعضها عن بعض.

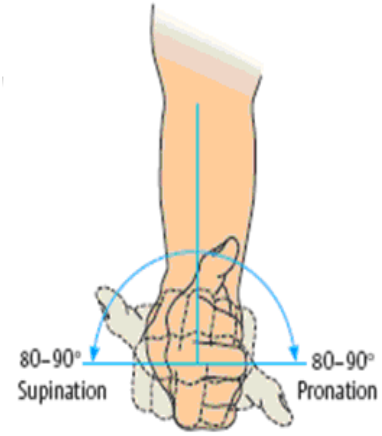
- **التدوير Rotation**

تتم الحركة في هذه الحالة حول المحور الطولي للعظم.



البسط أو المد الزائد Hyperextension

وهي أي حركة تزيد عن الوضع الطبيعي للمفصل وهو في كامل امتداده ويمكن ملاحظتها من الجانب.



- الكب Probation

ويقصد بحركة الكب تدوير اليد أو اليد و الساعد من المفصل المرفق إلى الداخل وتتم الحركة حول المحور الطولي للساعد بحيث تواجه ظهر اليد إلى الأعلى.

- البطح Suspiration

وهي عكس عملية الكب تماماً أي تدوير اليد أو اليد والساعد من مفصل المرفق إلى الخارج بحيث تواجه باطن اليد إلى الأعلى.

- (القلب) للداخل Everton

هي حركة يتم فيها قلب باطن القدم للخارج ، ويمكن ملاحظتها من الأمام أو الخلف .

- (الارتكاس) أو القلب العكسي (للخارج) Inversion

وهذه الحركة خاصة بمفصل القدم وهي عكس حركة القلب ، حيث تحدث بمواجهة باطني القدمين لبعضهما من الداخل .

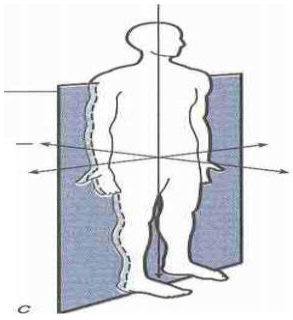
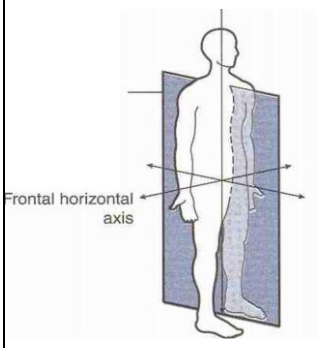
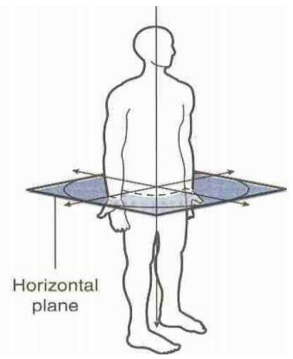
مستويات ومحاور الحركة Planes and Axes Motion

جسم الإنسان نظام ديناميكي معقد ويتكون من البناء العظمي والمجال الحركي للمفاصل بالاتجاهات الحركية المختلفة والمعقدة، فهو المعني بشؤون حركة أجزاء الجسم بمختلف أنواعه، وان كل جزء من هذا الأجزاء يسمح بحركات خاصة تتفق وطبيعة المفصل الذي تتم فيه الحركة ضمن الحركات الأساسية لها .

وتعتبر المستويات والمحاور من الأمور المفيدة عند وصف حركه الإنسان وكذلك حركات الأجزاء المختلفة منه. حيث أن المقصود من عملية التحديد لمحاور الجسم وللمستويات التي تتم فيها حركته سهولة فهم الحركة وكيفية سيرها وكذلك تسميتها .

والمستوى من الناحية الهندسية (هو المستوى الفراغي المنتظم)، وقد اصطلح على أن تنقسم حركة الجسم إلى ثلاث مستويات فراغية متعامدة تلتقي عند نقطة مركز الثقل .

وهذه المستويات أصلية (لأنها تمر بمركز ثقل الجسم) وتقسم الجسم إلى أنصاف متساوية ومن المهم أن يكون مفهوم لدينا أن أي حركة من الحركات الجسم أو أجزائه تقاس بالنسبة لهذه المستويات الفراغية وهي :

١- المستوى الأمامي **Coronal Plane** : يقسم الجسم إلى قسمين أحدهما أمامي والأخر خلفي.	
٢- المستوى الجانبي **Portrait Plane** : يقسم الجسم إلى نصفين متساويين أحدهما جهة اليمين والأخر جهة اليسار.	
٣- المستوى الأفقي (العرض) **Transverse Plan** : يقسم الجسم إلى قسمين علوي وسفلي.	

ومن هنا يتضح لنا أن هناك ثلاث محاور أصلية للحركة هي :

أ- المحور العمودي (الراسي) **vertical axis** :

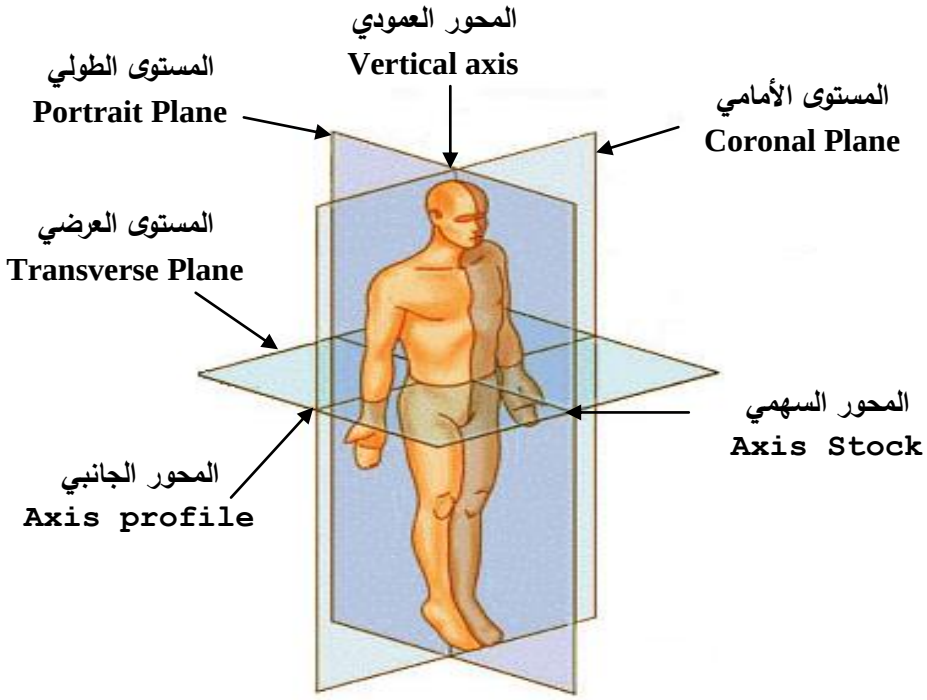
وهو خط وهمي يمر من الرأس للقدمين عمودي على المستوى الأفقي. يخترق الجسم من الأعلى إلى الأسفل فيدور حوله الجسم كما في الدوران حول الجسم في التزحلق على الجليد .

ب- المحور الجانبي (العرض) axis profile :

هو خط وهمي يخترق من الجانب إلى الجانب الآخر عمودي على المستوى الجانبي وهو موازي لسطح الأرض كما في الركض، المشي في عبور العارضة في الوثب العالي الدحرجة الأمامية ويدور أماماً وخلفاً .

جـ - المحور السهمي (العميق)

يخترق الجسم خط وهمي من الأمام إلى الخلف، عمودي على المستوي الأمامي وموازي للأرض، كما في العجلة البشرية حيث يدور الجسم يميناً ويساراً. وتتعامد هذه المستويات على بعضها البعض، وتتلاقى نقاط هذه المستويات عند نقطة مركز ثقل الجسم فيحدث الاتزان .



خصائص الحركات الرياضية

تعتبر الحركات الرياضية من حركات الإنسان المدروسة والمقننة والتي تسعى إلى تحقيق هدف حركي بأسلوب يضمن الوصول إلى الهدف المنشود. ولذا كان من الواجب وفي مجال علم الحركة والميكانيكا الحيوية أن يدرس الباحث أو المدرب أو المعلم أهم الخصائص التي تميز الحركات الرياضية عن غيرها من الحركات العشوائية أو حركات العمل البعيدة عن مجال المنافسة أو تسجيل الأرقام.

ودراسة خصائص الحركة الرياضية تساعد العاملين في مجال التربية الرياضية على معرفة أسلوب الأداء الصحيح - كما تساعدهم على إدراك الخطأ وأسبابه وبالتالي تصبح لديهم القدرة على التوجيه السليم للوصول باللاعب إلى أعلى مستوى أداء تسمح به إمكانياته وقدراته .

ومما لا شك فيه أن الحركات الرياضية تشترك جميعها في خصائص وصفات عامة وأن لكل حركة بعض المواصفات الخاصة التي تميزها عن غيرها من الحركات، أو بعبارة أخرى أن الأداء الفني السليم يجب أن تتوافر فيه عدة خصائص هامة أو دعائم أو ركائز الأداء الأمثل .

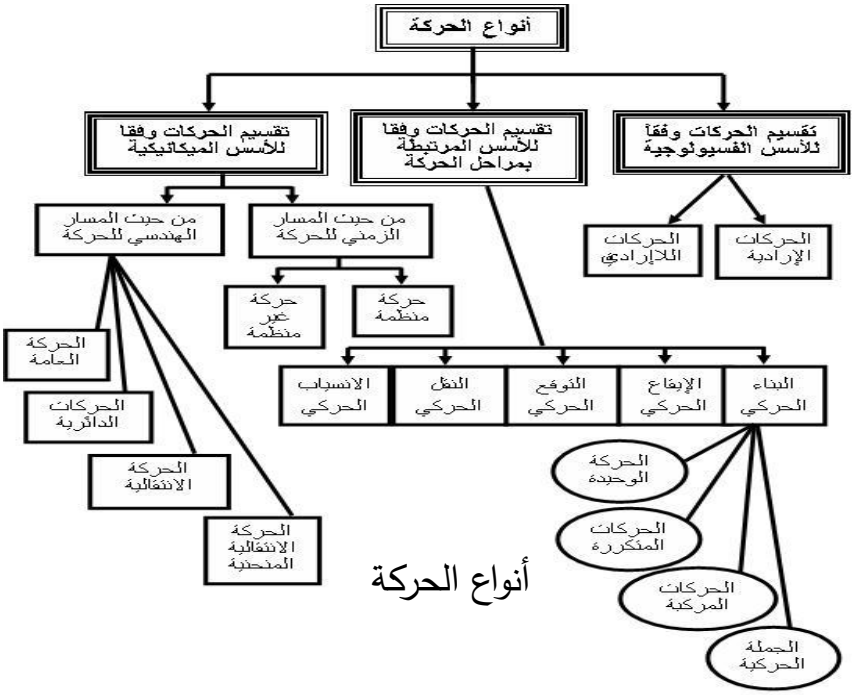
وتنحصر خصائص الحركة الرياضية فيما يلي:

١- لها هدف محدد .
٢- تتحرك جميع أجزاء الجسم المختلفة متعاونة لتحقيق هذا الهدف .
٣- لها مستوى أي تتميز بطريقة أداء خاصة .

أنواع الحركة

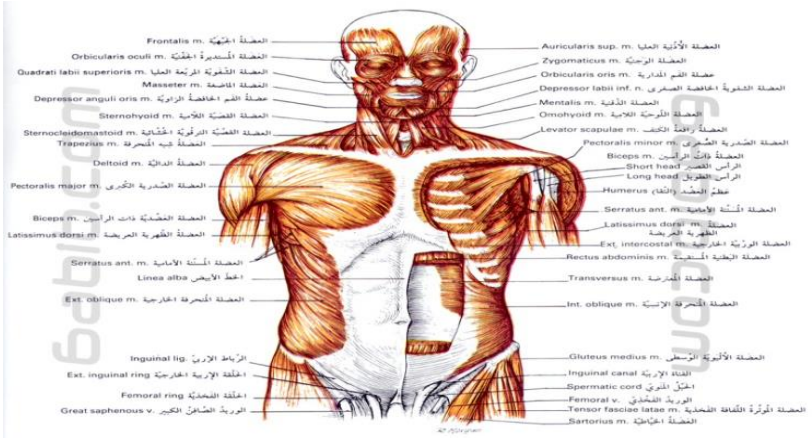
يمكن تقسيم الحركات وفقاً لعدة أسس على النحو التالي :

١- تقسيم الحركات وفقاً للأسس الفسيولوجية .
٢- تقسيم الحركات وفقاً للأسس المرتبطة بمراحل الحركة (الشكل الظاهري للحركة) .
٣- تقسيم الحركة وفقاً للأسس الميكانيكية .



أولاً : التقسيم وفقاً للأسس الفسيولوجية :-

يرتبط هذا التقسيم بالوظائف الخاصة بالحركات في جسم الإنسان حيث تعتمد حركة الجسم على الانقباض العضلي الذي ينتج قوة محركة ويحتوي تركيب جسم الإنسان على تقسيم فسيولوجي على النحو التالي :



١- الحركات الإرادية : وهي الحركات التي يقوم بها الإنسان بمحض إرادته، كما أنه من الممكن التحكم في هذه الحركات ومن أمثلة هذا النوع مختلف أنواع المهارات الحركية في مجال النشاط الرياضي الفردي أو الجماعي .

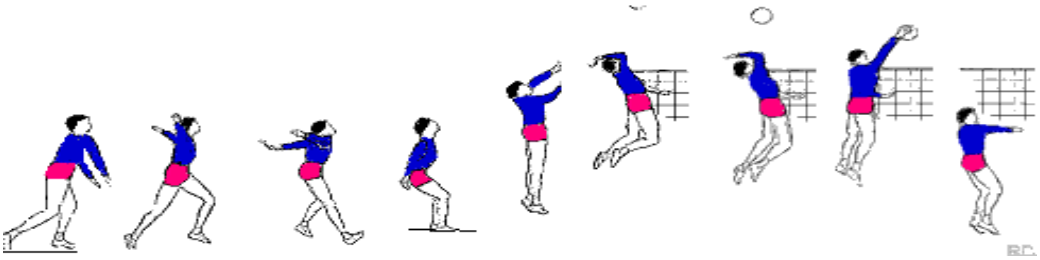
٢- الحركات اللاإرادية : وهي الحركات التي لا تخضع لإرادة الإنسان مثل حركة الأمعاء والمعدة في عملية الهضم والامتصاص والقلب والأجهزة الرخوية الداخلية في جسم الإنسان .

ثانياً : تقسيم الحركات وفقاً للأسس المرتبطة بمراحل الحركة :-

وتشير معظم المراجع التي تتناول دراسة تقسيم الحركة إلى أنه يمكن تقسيم الحركة وفقا للأسس المرتبطة بمراحل أدائها إلى ما يلي :

أولاً : البناء الحركي :

عند مشاهدتنا للمهارات الرياضية المختلفة أو حتى الحركات الطبيعية التي يؤديها الإنسان ، نجد أن لكل مجموعة حركية فعاليات رياضية ومواصفات خاصة وشكل مميز يميزها ويخصها عن غيرها من المجموعات الحركية أو الفعاليات الرياضية الأخرى ، فهذه حركات تؤدى لمرة واحدة فتعطي في النهاية شكلها المميزة الخاص ، وتلك حركات متفردة تكون في النهاية مهارة رياضية معينة لها شكل خاص ومميز أيضاً ، وعلى ذلك فلكل حركة بناء خاص ومميز .



وعلى ضوء ما تقدم يمكن عرض تلك الحركات ومراحلها المختلفة فيما يلي :

١- الحركات الوحيدة	←	ثلاثية المراحل .
٢- الحركات المتكررة	←	ثنائية المراحل .
٣- الحركات المركبة	←	لها أكثر من هدف حركي .
٤- الجملة الحركية	←	مكونة من مجموعات حركية

أولاً : الحركات الوحيدة

تسمي الحركات الوحيدة بالحركات ثلاثية المراحل لأنها تمر بثلاث مراحل حركية يمكن تمييزها من الناحية النظرية فقط ولكنها متداخلة بعضها البعض من الناحية العملية ، وتلك المراحل الثلاث هي :

- المرحلة التمهيدية .
- المرحلة الرئيسية .
- المرحلة النهائية .

وتمثل مجموعة الحركات الوحيد في كثير من المسابقات والمهارات والفعاليات الرياضية المختلفة ومن أمثلتها :

- مسابقات الوثب في ألعاب القوى .
- مسابقات الرمي في ألعاب القوى .

- مراحل الحركة الوحيدة :

أولاً : المرحلة التمهيدية :

تمثل هذه المرحلة أولى من مراحل الأداء الحركي للمهارة وهي من الأهمية لمكان تحديدها في كل مسابقة ، ففي مسابقات الوثب في ألعاب القوى يمثل الاقتراب المرحلة التمهيدية لتلك المهارة ، حيث تليها مباشرة المرحلة الرئيسية ، لذلك فإن تلك المرحلة البسيطة تسمى بالمرحلة التمهيدية حيث تليها المرحلة الرئيسية مباشرة .

- **أهمية وخصائص المرحلة التمهيدية :**

١ – الاستعداد والتهيئة المناسبة لمتطلبات المرحلة الرئيسية .
٢ – تجميع القوي اللازمة وذلك عن طريق الاسترخاء للعضلات العاملة وعدم تشنجها .
٣ – تستخدم المرحلة التمهيدية في الكثير من الألعاب الرياضية كوسيلة للخداع والتمويه إما بالجسم أو أي جزء من أجزائه .
٤ – إطالة المسار الحركي الذي له التأثير الإيجابي على المرحلة التالية من مراحل الأداء (الرئيسية) .

- **أشكال المرحلة التمهيدية :**

يمكن عرض الأشكال المختلفة للمرحلة التمهيدية في ما يلي :
١- المرحلة التمهيدية في إتجاة الحركة .
٢- المرحلة التمهيدية في عكس إتجاة الحركة .
٣- المرحلة التمهيدية المتكررة .
٤- المرحلة التمهيدية متعددة المراحل .

⇒ **المرحلة التمهيدية في إتجاة الحركة :**

نشاهد ذلك في كثير من مسابقات العاب القوى كالإقتراب في كل من مسابقات الوثب الطويل والثلاثي والعالي والقفز بالزانة وفعاليات الجمباز حيث نلاحظ أن خط عمل القوة في إتجاة الحركة وبذلك تحدث تلك المرحلة في الحركات الإنتقالية التي ترسم فيها مسار نقاط الجسم خطوطاً مستقيمة .

⇒ **المرحلة التمهيدية في عكس إتجاة الحركة :**

نشاهد ذلك في كثير من الفعاليات الرياضية وفي الألعاب الجماعية كحركة ضرب الكرة بالقدم حيث تبدأ الحركة في إتجاة عكس الحركة الأساسية فتمرجح الحركة الضاربة بحركة بندولية من مفصل الفخذ للخلف وذلك في إتجاة معاكس للحركة ثم للأمام وذلك في إتجاة الحركة الصحيحة وبذلك تأخذ الحركة مسار أطول لتوليد القوة والسرعة اللازمين لضرب الكرة .

⇒ المرحلة التمهيدية المتكررة :

نلاحظ تلك المرحلة في كثير من الفعاليات الرياضية وذلك على سبيل المثال رمي المطرقة حيث يبدأ اللاعب بثلاث مرجحات تتبعها ثلاث دورانات كل ذلك يمثل المرحلة التمهيدية فتكرر حركة المرجحة أكثر من مرة وكذلك حركة الدوران .

⇒ المرحلة التمهيدية متعددة المراحل :

تظهر تلك المرحلة واضحة عند الأداء الحركي لرمي الرمح من الجري حيث يبدأ اللاعب في المرحلة التمهيدية وهي الإقتراب الذي ينقسم إلى مرحلتين رئيسيتين:

المرحلة الأولي : وهي الجري العادي وتمثل سرعة إنتقالية .

المرحلة الثانية : حيث يتغير إيقاع الجري للإستعداد للرمي لإكتساب السرعة المناسبة والتي تمكن اللاعب لأخذ الوضع الجيد للرمي ، هذه المرحلة تتضمن خطوات توقيتيه بإيقاع وشكل مخالف لخطوات الجري الأولى وبذلك يوظف اللاعب تلك المرحلة بقسميها لإعداد جيد للرمي .

ثانياً المرحلة الرئيسية :

تعتبر تلك المرحلة أهم مرحلة من مراحل الأداء الحركي لأي مهارة وبذلك يجب أن يبذل فيها كل الجهد المطلوب لتحقق فيها هدف الحركة ومن أمثلة المرحلة الرئيسية :

١- مسابقات الوثب العالي والطويل والثلاثي : يمثلها مرحلة الإرتقاء .
٢- الوثب في المكان لمرة واحدة : يمثلها الإرتقاء لأعلى .
٣- الوثب على الأجهزة في الجمباز : يمثلها الإرتقاء على الجهاز .
٤- التصويب على المرمي في كرة اليد : يمثلها لحظة التصويب .

وعلى ضوء ما تقدم فإن المرحلة الرئيسية تمثل الإرتقاء في مسابقات الوثب عامة وكذلك التصويب في كرة اليد حيث يمثل ذلك كله المرحلة الرئيسية للحركة .

ثالثاً المرحلة النهائية :

تعتبر هي المرحلة الأخيرة من مراحل الأداء الحركي للحركات الوحيدة وهي تلي المرحلة الرئيسية في التسلسل الحركي أما بالنسبة للأهمية فتلي المرحلة التمهيدية وبذلك يمكن تسلسل المراحل الحركية الثلاث حسب أهميتها كما يلي :

- المرحلة الأساسية : وتأخذ الأهمية الأولي .
- المرحلة التمهيدية : وتأخذ الأهمية الثانية .
- المرحلة النهائية : وتأخذ الأهمية الثالثة .

مثال : الوثب العالي : كل الحركات التي تؤدى على العارضة وحتى الهبوط وذلك بعد مرحلة الإرتقاء (الدوران على العارضة والهبوط) فيكون الهبوط هو المرحلة النهائية (الختامية) .

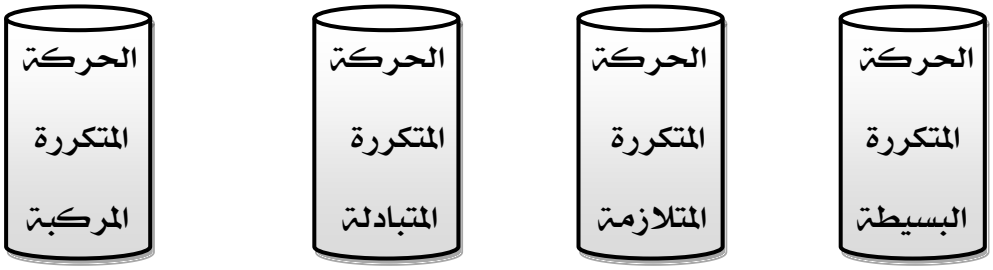
ثانياً : الحركات المتكررة

تسمى الحركات المتكررة بالحركات ثنائية المراحل فهي تختلف عن الحركة الوحيدة حيث تندمج المرحلة النهائية و التمهيدية في مرحلة واحدة تسمى المرحلة المزدوجة تليها المرحلة الرئيسية مباشرة .

مثال : الوثب في المكان بإستمرار ، يعتبر حركات متكررة ثنائية المراحل .

وهي عبارة عن اندماج المرحلة النهائية والمرحلة التمهيدية واللتان تمثلان العودة بالجسم إلى الأرض والإستعداد مرة أخرى للوثب واللذان يظهران في مرحلة واحدة .

أشكال الحركات المتكررة :



أ – الحركة المتكررة البسيطة :

تظهر عندما تؤدى الحركات ثنائية المراحل بتشابه وتماثل كما في الوثب في المكان بإستمرار والجري والمشي والتجديف .

ب- الحركة المتكررة المتلازمة :

تؤدى في وقت واحد وذلك بأكثر من حركة كما في سباحة الفراشة .

جـ- الحركة المتكررة المتبادلة :

وفيها تتبادل عملها كما في السباحة الحرة .

د- الحركات المتكررة المركبة :

مركبة من أكثر من حركة وتمثل نفسها بإستمرار كما في عدو الحواجز

ثالثاً : الحركات المركبة

تعتبر الحركات المركبة من أكثر الحركات الرياضية تعقيداً وأهمية حيث تتميز بتحقيق اكثر من هدف وواجب حركي في وقت واحد .

والمثال التالي في كرة اليد ، عندما يقفز اللاعب المهاجم لأعلى لإستلام الكرة والتصويب المباشر على الهدف :

المرحلة التمهيدية : الإستعداد للوثب .

المرحلة الأساسية : لها أكثر من واجب حركي ، الواجب الأول الوثب لأعلى ، الواجب الثاني إستلام الكرة ، الواجب الثالث التصويب على الهدف (تؤدى كلها في وقت واحد) .

المرحلة النهائية : هبوط اللاعب بفعل الجاذبية .

من المثال السابق يتضح أن الحركات المركبة لها أكثر من واجب حركي أي أكثر من هدف وتؤدى في وقت واحد .

رابعاً : الجملة الحركية

نشاهد الجملة الحركية عند الأداء الحركي للاعبي الجمباز أو التمرينات أو العروض الرياضي وذلك عند وصل حركة بأخرى دون توقف حيث تكون المرحلة النهائية للحركة الأولى نفسها هي المرحلة التمهيدية للحركة الثانية .

مواصفات الجملة الحركية :

١- الوصل الحركي الجيد بين أجزاء الحركة الكلية وإنتقالة دون توقف .

٢- هارمونية الحركة بتوافق أجزائها بعضها البعض .

٣- إيقاع حركي جيد من خلال التوزيع الأمثل لبعدي الإيقاع الزمني والديناميكي .

ثانياً : النقل الحركي :

يشير الى أن النقل الحركي " هو ما يلجأ إلية الجسم البشري لزيادة قوة أو سرعة العضو المكلف بالأداء ويتم بأشكال متعددة :

- النقل الحركي من الأطراف للجذع .
- النقل الحركي من الجذع للأطراف .

النقل الحركي من الأطراف للجذع :

أولاً : النقل الحركي من الرجلين للجذع :

المشي والجري : تنقل الحركة من الرجلين الي الجذع أثناء المشي أو الجري حيث يعمل تآزر حركات الرجلين على إتمام الحركة ككل .

ثانياً : النقل الحركي من الذراعين إلى الجذع :

الجمباز : أثناء أداء الشقلبة على الأرض ، يحدث نقل حركي من الذراعين على الجذع حيث مستوى الحركة على مدى التآزر الخاص بحركات الذراعين .

ثالثاً : النقل الحركي من الرأس إلى الجذع :

يعتبر الرأس هو الموجة الرئيسي لحركات الإنسان عند المشي للأمام وعند الدوران لليمين أو اليسار فأول ما يواجه الجسم هو الرأس ، كل هذه الحركات تؤدى بإنتقال حركي من الرأس إلى الجذع وفي نفس الإتجاة .

✍ النقل الحركي من الجذع إلى الأطراف :

أولاً : النقل الحركي من الجذع إلى الذراعين .

مثال : الملاكمة (نقل حركي من الجذع إلى الذراعين) حيث تعجل تآزر عضلات الجذع على قوة اللكمة وسرعتها نحو الخصم حيث أن العمل الحركي للذراع وحدة غير كافٍ لتحقيق هذه الحركة .

ثانياً : النقل الحركي من الجذع إلى الرجلين .

مثال : كرة القدم (نقل حركي من الجذع إلى الرجلين) حيث يعمل تآزر عضلات الجذع على قوة وسرعة وبعد الكرة ، بذلك فإن العمل الحركي للرجل وحدها غير كافٍ لتحقيق هدف الحركة .

ثالثاً : النقل الحركي من الجذع إلى الرأس :

مثال : كرة القدم (نقل حركي من الجذع إلى الرأس) عند ضرب الكرة بالرأس يحدث نقل حركي من الجسم إلى الرأس بذلك تتآزر عضلات الجسم مع عضلات الرقبة والرأس في عملية ضرب الكرة .

ثالثاً : الإيقاع الحركي :

تعريف الإيقاع الحركي " هو نسق النسب بشكل منتظم في المساحة والزمن وهنا فإن إيقاع الشيء هو نظامه .

مجالات الإيقاع :

- المجال الأول : الإيقاع والطبيعة .
- المجال الثاني : الإيقاع والحياة .
- المجال الثالث : الإيقاع الحركي والموسيقي .
- المجال الرابع : الإيقاع البيولوجي .

أولاً : الإيقاع والطبيعة :

إن الطبيعة بإيقاعاتها المختلفة تعطي للكون الشكل المميز لها والأمثل على ذلك كثيرة وظاهرة كإيقاع الليل والنهار والشمس والقمر وإيقاع الفصول الأربعة.

ثانياً : الإيقاع والحياة :

كما يلازم الإيقاع حياة الإنسان اليومية وكذلك الحيوانات كانتقالهم من حالة النوم إلى اليقظة ومن اليقظة إلى النوم وذلك بصورة موزونة ومستمرة.

والتلميذ يبدأ يومه بالذهاب إلى المدرسة يقضي بها يوماً حافلاً بإيقاع مدرسي مميز ودروس متتالية تتخللها فترات الاسترخاء.

والإيقاع لا يقتصر في الحياة على الشكل الخارجي بل يتعدى ذلك إلى عمل الأجهزة الداخلية للإنسان.

ثالثاً : الإيقاع الحركي والإيقاع الموسيقي :

تعتبر دراسة الإيقاع الحركي أساس من الأسس التي تبني عليها تحليل وتقويم الحركات الرياضية ، هذا بالإضافة إلى إسهامها الإيجابي في العملية التعليمية.

ومع إختلاف الإيقاع الحركي عن الإيقاع الموسيقي إلى أنهما مرتبطان من جهة الوزن حيث تعتبر الموسيقى وسيلة لإيصال وتعلم الإيقاع الحركي والارتقاء به

رابعاً : الإيقاع البيولوجي :

يعرف بأنه التنظيم الزمني الديناميكي الخاص والمميز للأداء العام.

ويمثل الإيقاع البيولوجي بعدين أساسين :

البعد الأول : (البعد الزمني للإيقاع) يتمثل في التوزيع الزمني وهي تلك الفترات أو المساحات الزمنية التي يستغرقها كل مقطع من مقاطع الحركة.

البعد الثاني : (البعد الديناميكي للإيقاع) وهو البعد الذي يعكس مدى التباين في النشاط وفعالية العضلات في كل مقطع من مقاطع الحركة والذي تمثله العلاقة بين عمليتي الشد والإسترخاء حيث يسمى بالبعد الديناميكي للحركة .

مما تقدم يمكن تعريف الإيقاع الحركي : بالنسب الزمنية والديناميكية بين الأجزاء التي تمثل عمليتي الشد والإسترخاء .

رابعاً : التوقع الحركي :

يعتبر التوقع الحركي من الظاهر الخارجية لتقويم الحركة في المجال الرياضي ولذلك يلعب دوراً هاماً ورئيسياً في مجال الألعاب والفعاليات الرياضية المختلفة لإرتباطة بالتطور الصحيح للحركة والذي ينتج عنة جمال الحركة وإنسيابتها .

أنواع التوقع الحركي :

١- التوقع الحركي الذاتي .
٢- التوقع الحركي الغير الذاتي .

أولاً : التوقع الحركي الذاتي :

وهو التوقع الحركي الخاص بالفرد نفسة حسب تصوره الحركي وليس لأي فرد آخر أو أدائه دخل في التوقع ، وقد يكون هذا التصور صحيحاً وقد لا يكون صحيحاً ، فعلى سبيل المثال يتوقع لاعب الوثب العالي بأنه في حالة الإقتراب (مرحلة تمهيدية) بسبع خطوات موزونة وبإيقاع جيد مع زيادة في سرعة الثلاث خطوات الأخيرة ، يعطي ذلك ثقة للاعب لأداء ارتقاء ومرور للعارضة بشكل جيد .

ثانياً : التوقع الحركي الغير ذاتي :

وهو توقع حركات الغير وقد تكون تلك الحركات حركات خصمة كما في الألعاب المختلفة ككرة القدم واليد والمطرقة في ألعاب القوى .

© التوقع الحركي الغير ذاتي بالنسبة للألعاب :

فمثلاً في كرة السلة يتوقع حركة المدافع على توقعه لشكل وإتجاه المهاجم والتي تظهر من خلال إتجاة الجسم وحركة القدمين والذراعين وإتجاة الرأس وقد كون ذلك كلة خداع فسرعان ما يعدل المدافع توقعه .

© التوقع الحركي الغير ذاتي عند إستخدام أداة :

عند أداء حركة رياضية بإستخدام أداة كما هو في رمي المطرقة نرى أن التوقع له علاقة كبيرة بعمل الأداة وتأثيرها المباشر في الحركة .

© التوقع الحركي الغير ذاتي في مجال الحياة :

فعند عبور شخص ما للشارع من جانب لآخر وبدون وجود إشارة للتحكم وتنظيم عملية المرور ، فعندما يتفاداه الشخص السيارة المارة في الشارع تختلف بذلك الطريقة في عبور الشارع بإختلاف عمر وجنس الشخص وقدراتهم .

العناصر الأساسية التي يعتمد عليها التوقع الحركي :

تختلف هذه العناصر بإختلاف نوع التوقع (ذاتي / غير ذاتي) وأيضاً على الموقف المحيط باللاعب وعلية يمكن تحديد تلك العناصر فيما يلي :

١- التخيل الصحيح للحركة .
٢- خبرة اللاعب .
٣- مستوى اللاعب .
٤- المرونة الحركية للاعب .
٥- مدى الإحساس والزمن .

ثالثاً : الخداع والتوقع الحركي :

إن الكثير من الفعاليات الرياضية الأخرى كالملاكمة والمبارزة والمصارعة يشكل فيها الخداع أهمية كبيرة في تحقيق هدف الحركة وذلك عن طريق تغيير شكل المرحلة التمهيدية أو إيقاع الحركة أو إتجاهها .

وعلي ذلك يمكن تعريف الخداع في مجال الألعاب الرياضية بما يلي :

" الظهور بمظهر حركي غير حقيقي وغير متوقع الغرض منة تحقيق هدف الحركة بعيداً عن معرفة الخصم .

خامساً : الإنسياب الحركي :

يعتبر الإنسياب الحركي أحد العناصر الخاصة بتقويم الحركة في المجال الرياضي ، حيث يعتبر أساس للحركة الجيدة ، وبذلك لا يمكن فصل الإنسياب الحركي عن الخصائص الحركية الأخرى . كالوزن الحركي والإنتقال الحركي والإيقاع الحركي والتوقع الحركي . . إلخ من تلك الخصائص التقويمية للحركة .

تعريف الإنسياب الحركي :

"هو حدوث الحركة دون توقف ملموس بين أجزائها "وهذا يعني الإنتقال والسريان الحركي بين أجزاء ومراحل الأداء الحركي . . سواء كانت تلك الحركات وحيدة المراحل أو ثنائية المراحل أو جملة حركية أو حركات مركبة .

وذلك فإن دراسة الإنسياب الحركي يتطلب معرفة أبعاده الثلاثة وكما يلي :

١- البعد الأول - مجال الحركة .
٢- البعد الثاني - زمان الحركة .
٣- البعد الثالث - ديناميكية الحركة .

١ . مجال الحركة :

إن أداء تلك الحركة ككل "مجال الحركة" تشمل المساحة الحركية والتي تتمثل في التنطيط والتصويب على الهدف، وبذلك ينظر الى الإنسيابية في مجال الحركة تحت الشروط التالية :

١- الإستمرار في الحركة من الداية وحتي النهاية دون توقف .
٢- عدم فقدان السرعة المكتسبة والازمة للتصويب .

٢ . زمان الحركة :

يقصد زمان الحركة التوزيع الأمثل للفترات الزمنية اللازمة لمراحل وأجزاء الحركة ، فلكل مهارة حركية زمن أداء خاص ومعين لكل مرحلة من مراحلها وأجزائها .

٣. ديناميكية الحركة :

يقصد بديناميكية الحرك ، إمكانية توزيع القوة على مراحل وأجزاء الحركة بما يتناسب مع دور كل مرحلة وأجزاءه في الأداء الحركي ، يظهر ذلك واضحاً في توزيع القوة على مرحلتي الشد والارتخاء عند الأداء الحركي .

علاقة الإنسياب ببناء وإيقاع ونقل الحركة :

- علاقة الإنسياب الحركي ببناء الحركة .
- علاقة الإنسياب الحركي بالإيقاع الحركي .
- علاقة الإنسياب الحركي بالنقل الحركي .

فيما يعتمد الإنسياب الحركي :

الأسس الهامة التي يعتمد عليها الإنسياب الحركي وهي كما يلي :

١- معرفة الخصائص الميكانيكا والفسيولوجيا للحركة .
٢- الاقتصاد عند إستخدام القوى الداخلية والخارجية عند الأداء الحركي .
٣- معرفة مسار النقل الحركي والاستفادة من التآزر الحركي .
٤- التخيل الصحيح لمعرفة مسار الحركة الكلي .
٥- التخيل الصحيح لمعرفة بناء وشكل الحركة .
٦- الإحساس الصحيح بإيقاع الحركة .

مظاهر الإنسياب الحركي :

١- عدم توقف أجزاء الحركة .
٢- خط سير الحركة تموجي أو في شكل قوس .
٣- عدم وجود زوايا حادة في خط سير الحركة .
٤- عدم بذل جهد زائد عند أداء الحركة .
٥- التوافق والاتزان عند أداء الحركة .
٦- إيقاع موزون للحركة .

ثالثاً : تقسيم الحركات وفقاً للأسس الميكانيكية :

يمكن تقسيم الحركات وفقاً للأسس الميكانيكية على النحو التالي:

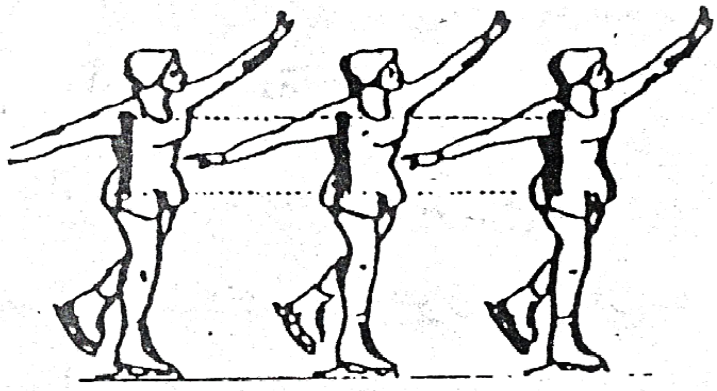
١- التقسيم من حيث المسار الزمني :

أ- حركات منتظمة : وهي تلك الحركات التي يقطع فيها الجسم كله أو أجزاء منه مسافات متساوية في أزمنة متساوية، حيث يقطع الجسم مثلاً (٢م) في الثانية وبصفة مستمرة. وهذا غير وارد في الأنشطة الرياضية .

ب- حركات غير منتظمة : وفيها يقطع الجسم مسافات غير متساوية في وحدات زمنية متساوية، وهذا اللون منتشر في الأنشطة الرياضية حيث تتغير سرعة الحركة بالزيادة أو النقصان فيقطع الجسم مسافات غير متساوية في أزمنة متساوية (مختلفة) .

٢- التقسيم من حيث المسار الهندسي (الاتجاه) :

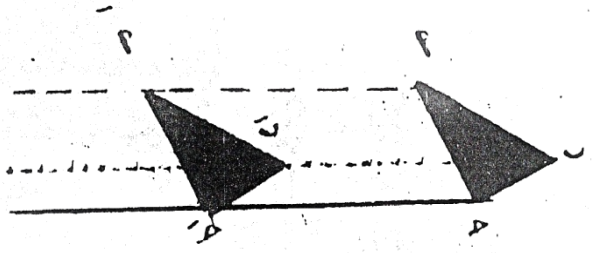
أ- **الحركات الانتقالية :** وهي الحركات التي ينتقل فيها الجسم كوحدة كاملة من مكان لآخر، وتحدث عندما يتحرك الجسم بحيث يقطع الجسم وأجزاءه نفس المسافة بنفس الاتجاه وبنفس الوقت، حيث ترسم نقاط الجسم خطوطاً متوازية مع بعضها البعض .



حركة انتقالية الانزلاق على الجليد

ويمكن تقسيم الحركة الانتقالية إلى نوعين:

١ – **الحركة الانتقالية المستقيمة:** وهي حركة الجسم مع بقية أجزاءه في خط مستقيم كالتزحلق على الجليد أو الانزلاق على الماء.



حركة انتقالية مستقيمة

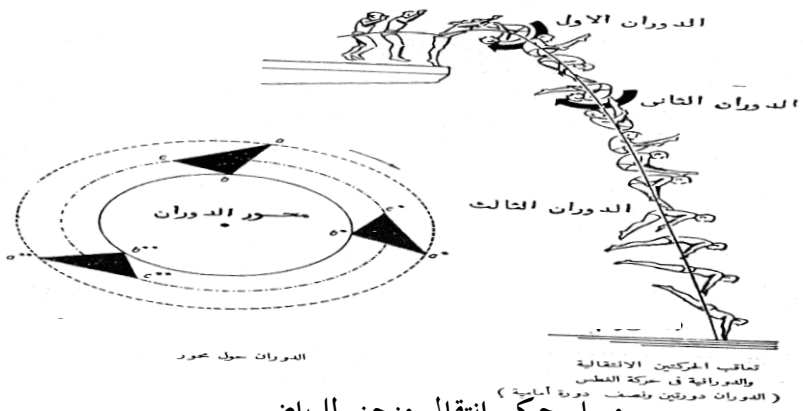
٢ – **الحركة الانتقالية المنحنية (القوسية):** وهي الحركة التي تتم في خط منحنى (أقواس) أثناء انتقال الجسم كحركات المقذوفات، وهي تختلف عن الحركة الدائرية في أن الحركة الدائرية يكون محور دورانها داخل أو خارج الجسم، أما الحركات المنحنية الانتقالية فيكون محور دورانها خارج الجسم.

حركة انتقالية منحنية

يخضع الجسم في الحركة الانتقالية المنحنية إلى سحب الجاذبية والتي تجعل الجسم يتحرك بمسار منحني، ويتضح ذلك في حركة رجل المظلات بالنسبة للجذع، حيث تأخذ حركة الجذع خطوط منحنية بدلاً من أن تكون مستقيمة، كذلك تشمل كل أنواع القفزات الرياضية كالوثب العريض والثلاثية والعالي وأي نوع من الأنواع التي يكون فيها الجسم في حالة طيران وهذا النوع من الحركات تؤثر عليه قوتين.

١- القوة الناجمة من الجسم وهي القوة الدافعة والمحركة والناهضة أو قاذفة الجسم .

٢- القوة الناتجة عن سحب الجسم للأرض وهي قوة الجاذبية الأرضية وهذا ما نسميه القوة السلبية. فالقوة الإيجابية ترفع الجسم والسلبية تسحب الجسم إلى الأسفل .



مسار حركي انتقالي منحني للرياضي

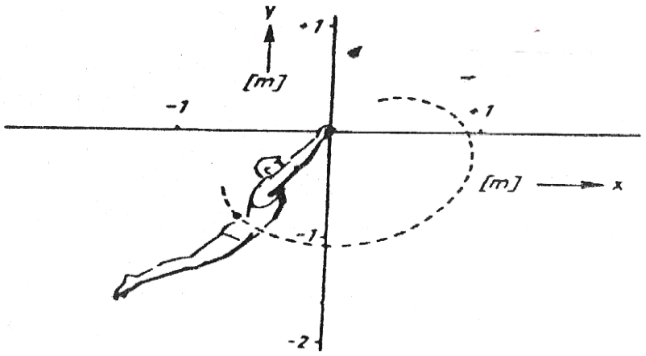
ب- الحركات الدائرية :

وهذا النوع من الحركات وارد بكثرة في مجال الأنشطة الرياضية، وفيه ترسم أي نقطة من الجسم قوس أو دائرة حول محور دوران قد يكون داخل الجسم أو خارج الجسم ويسمى محور الدوران ثابت في حالة لو كان الجسم في وضع دائري واحد كما في المرجحة على العقلة أو المتوازي .

أما في حالة أداء الحركات التي تتطلب تحريك مختلف أجزاء الجسم حول محاور وهمية فلا تكون أبعاد الجسم ثابتة مثل رمي الرمح والمطرقة. وقد تتم الحركة حول محور داخلي للجسم كما في رفع الرجل أو الذراع لأعلى .

وتعتبر مختلف حركات المفاصل في جسم الإنسان حركات في أقواس أو في دوائر وفقاً للحركات التشريحية التي يمكن للمفصل أن يؤديها. والغالبية العظمى من الحركات التي يؤديها جسم الإنسان تعتبر حركات دائرية فيما عدا حركة الجذع، حيث تعتبر حركة مستقيمة منحنية وخصوصاً في مجال النشاط الرياضي، فحركة الذراع أماماً وخلفاً تعتبر حركة دائرية أو في أقواس، وكذلك حركة مفصلي الفخذين في المشي أو في مرجحة الرجل أماما وخلفا .

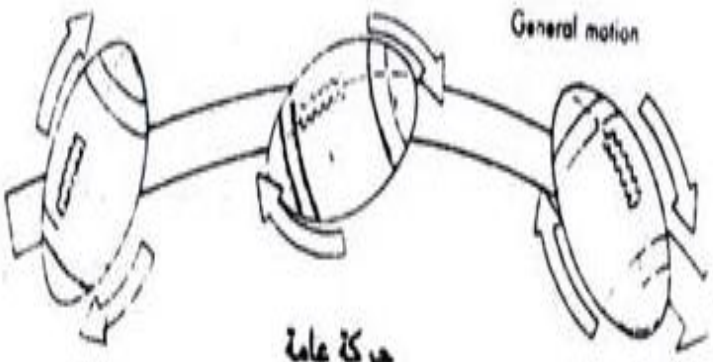
وفي مجال الأداء المهاري قد تؤدي مجموعة مفاصل الجسم عدة حركات دائرية مختلفة المراكز مثل مهارة رمي الثقل أو رمي القرص، وفي الحركات الدائرية تتحرك جميع أجزاء الجسم خلال نفس الزاوية وفي نفس الاتجاه وبنفس الوقت حول محور الدوران الذي إما أن يكون داخل الجسم (وهمياً) أو خارجه (حقيقياً).



الدوران حول محور ثابت

ج- الحركة العامة (المركبة):

ويمكن أن تكون الحركة عامة بمعنى أن تضم بين خصائص الحركة الدائرية والحركة الانتقالية المستقيمة حيث يمكن أن تؤدي المهارة بحيث يسير الجسم حول محور بينما يسير المحور نفسه في اتجاه معين حركة انتقالية، وذلك كما في حركات الغطس وحركات الجري والمشي والدراجات والسباحة والسلاح.



حركة عامة

مفهوم أبعاد الحركة

يحتوي مفهوم أبعاد الحركة على أربعة جوانب محددة والجوانب الأربعة هي :-

١- الوعي الفراغي (اتجاه وبعد الحركة) .
٢- الوعي بالجسم (ما الذي يستطيع الجسم عمله) .
٣- نوع الحركة (كيف يتحرك الجسم) .
٤- العلاقات الحركية (مع من يتحرك الجسم) .

١- الوعي الفراغي :

يحتوي هذا البعد لحركة الجسم على الاتجاه والمستوى والمسار الحركي للجسم في الفراغ والفراغ هو المسافة الموجودة والتي يتم في إطارها حركة الجسم، وللفراغ حدود معينه قد تكون هذه الحدود كبيرة أو صغيرة. والفراغ قد يكون فراغ شخصية أو فراغ عام يتضمن الفراغ الشخصي فراغ يمكن الفرد من الوصول له من خلال حركات الجسم الالتوائية أو الامتدادية، أما الفراغ العام فأنه يحتوي على المسافة التي يتحرك خلالها الفرد أو مجموعة من الأفراد وأحسن مثال على الفراغ العام هو الملاعب الداخلية والخارجية وسنتناول هنا أبعاد الفراغ من حيث الاتجاه والمستوى والمسار الحركي :

أ – الاتجاه :

أن الوعي لحركات الجسم في الفراغ من قبل الفرد يساعده على التحرك في مختلف الاتجاهات خلال المسافة الفراغية وهذه الاتجاهات قد تكون باتجاه الأمام أو الخلف أو الأعلى أو الأسفل أو الجانب .

ب – المستوى والمحور :

إن الجسم يتحرك خلال الفراغ في مستويات ومحاور متنوعة ومن أمثالها المستويات والمحاور الأمامية والجانبية العرضية ، وقد تكون هذه المستويات متوسطة الارتفاع أو منخفضة أو عالية .

ج – المسار:

هو خط حركة مركز ثقل الجسم خلال انتقاله في الفراغ من نقطة إلى أخرى والحركة قد تكون لمركز ثقل الجسم ككل أو لمركز ثقل كتلة – أعضائه، والمسار الحركي يعطي البعد الفني الانسيابي للأداء الحركي .

٢- الوعي بالجسم:

يعني قدرة الفرد على معرفة وتحديد حركة جسمه ككل وحركة أجزاءه، والوعي بحركات الجسم يستوجب التدريب على معرفة أعضاءه ووظائفها منذ الطفولة المبكرة وقبل دخول المدرسة لكي ينمو عند الطفل الوعي والحس المناسب لجسمه .

٣- نوع الحركة وزمنها:

فهي الصفات والخصائص المحددة لنوعية الحركة واختلافها يتم من خلال الزمن والانسيابية والقوة بشكل الجسم.. إن الزمن يحدد سرعة الحركة وكلما كان الزمن قصيراً كلما كانت الحركة سريعة، والحركات قد تكون منتظمة السرعة أو غير منتظمة، فالحركات ذات السرعات المنظمة هي تلك الحركات التي يقطع فيها الجسم مسافات متساوية في أزمنة متساوية، أما الحركات ذات السرعات غير المنتظمة فهي كل الحركات التي يقطع فيها الجسم مسافات متساوية في أزمنه مختلفة وبالعكس، أما الانسيابية فتعني كل المظاهر الحركية التي تميز جودة الأداء التوافقي من عدمها والقوة الخارجية التي تتحكم في الانسيابية، أما القوة فهي الفعل الذي يعطيه الفرد للتغلب على المقاومة، وقد تكون هذه المقاومة فرد أو أي شيء خارجي والفعل هنا يعني القوة الداخلية المتمثلة بانقباضات العضلية، أما المقاومة فهي القوة الخارجية والقوة لكي تكون اقتصادية لابد إن تعطي بتوقيت مناسب الترتيب .

المحاور الإحداثية أو النظام الإحداثي (Coordinate systems)

عند دراسة حركة أجسام معينة لذا يفضل أن نعتمد اصطلاحاً شبكة من ثلاثة محاور يطلق عليها اسم منظومة محاور إحداثية حيث يكون فيها محور السينات (X – axis) منطقياً على اتجاه (شرق – غرب) مثلاً ومحور الصادات (Y – axis) منطبقاً على اتجاه شمال – جنوب ومحور العينات (Z – axis) منطقياً على اتجاه أعلى أسفل فعندئذ نقول إن موضع الجسم المذكور حالياً يعطى وفق المعطيات أو المدلولات التي تمت الإشارة إليها بالإحداثيات الثلاثة حيث تعني الإشارة الموجبة نحو الشرق أو الشمال أو للأعلى على الترتيب بينما تعني الإشارة السالبة نحو الغرب أو الجنوب أو الأسفل على الترتيب أيضا وتدعى الإحداثيات (X – Y – Z) إحداثيات ديكارتييه .

إضافة إلى ما تقدم فأنه لا تتم الحركة بالمعنى الميكانيكي إلا إذا غير الجسم من مكانه بمرور فترة زمنية ولا يمكن أن تتبين هذا التغيير جيدا إلا بالنسبة لجسم آخر ، فمسافر الطائرة لا يستطيع تقدير سرعة الطائرة إذا كانت تطير طائرته وسط السحب مما يحجب عنه رؤية النجوم أو الأرض وبذلك ينعدم وجود نقطة إيضاح (علامة نسبية) يمكنه عن طريقها تحديد ومعرفة المسافة المقطوعة في الوحدة الزمنية ولذلك يختلف تسجيل حركة نقطة معينة على شيء معين إذا سجلناها أو حددنا حركتها بالنسبة إلى نقطة إيضاح (علامة نسبية) مختلفة في اتجاهات معينة .

❖ مثال ذلك :

ثلاثة أشخاص يراقبون حركة معينة لسيارة تسير بسرعة (٨٠ كم / ساعة) بالنسبة لمستوى الأرض . فالشخص الأول (أ) الذي يسير في اتجاه بسرعة (٣٠ كم / ساعة) سوف يقدر متوسط سرعة السيارة عن طريق القياس النسبي بمقدار (٥٠ / كم / ساعة) أما الشخص الثاني (ب) فيقدر سرعتها بمتوسط مقداره (١١٠ كم / ساعة) لأنه يتحرك في نفس المستوى و لكنه يسير في الاتجاه العكسي ، بينما الشخص الثالث (جـ) فسيقدر متوسط سرعة السيارة المذكورة بمقدار (٨٠ كم / ساعة) لأنه ثابت في مكانه ويتضح مما سبق أن تقدير السرعة بالنسبة للعداء أو السباح سيختلف باختلاف علامة الإيضاح التي يمثلها أعضاء الفريق المنافس أو المتفرجين أو خط النهاية ، ولذلك نجد أن السباح أو العداء الذي يسبح يكون تقديره لسرعته كبيرا إذا جعل خط النهاية أو المتفرج الثابت علامة إيضاح بالنسبة له ، أما في حالة السباحة أو العدو مع فريق منافس فانه يتخذ من هذا

الفريق الذي يسبح معه في نفس الاتجاه علامة إيضاح تسير في نفس الاتجاه وبذلك يكون تقديره بسرعته النسبية دائما من سرعته في هذه الحالة فيحقق نتائج طيبة .

ولا تقتصر دراسة الحركة النسبية على دراسة السرعة أو التعجيل فقط ولكنها تشمل أيضاً دراسة الاتجاهات وتحديدها ، فنحن نعلم مثلاً أن حركة القدم لراكب الدراجة هي حركة دائرية ولكن الواقع إننا لا نراها كذلك إلا عندما يركب شخص ما ويتحرك في نفس الاتجاه الذي يتحرك فيه راكب الدراجة بنفس السرعة تقريبا ، أما الشخص الثابت على الرصيف فأنه سوف يراها كحركة تموجيه .

والواقع انه لا يوجد شيء ساكن في الكون على الإطلاق بل أن كل ما فيه يتحرك، ولما كانت كل الحركات فيه نسبية فانه لابد لتمثيل أي حركة أو وصفها بوضوح من قياسها نسبياً دائماً إلى شيء ثابت ، وبالتالي فان الحركة المطلقة التي لا ترجع إلى نظام قياسي نسبي معين لا معنى لها . حيث يتخذ مستوى الأرض غالباً كنظام نسبي ثابت في الحركات الرياضية . وكذلك في الحياة العامة . فننسب حركة مقذوف مثلا إلى الأرض بينما الأرض نفسها تتحرك بدورها ، وعلى ذلك فان حركة المقذوف ليست حركة مطلقة دائما هي حركة نسبية .

أن كل ما تقدم يعتمد على النظرية النسبية لأينشتاين الذين صنع نظريته النسبية على افتراضين أساسيين هما نسبية الحركة وسرعة الضوء الذي لا تتغير فقد كانت سرعة الضوء هي الأساس في بنائه الرياضي لأنها الشيء الوحيد المطلق .

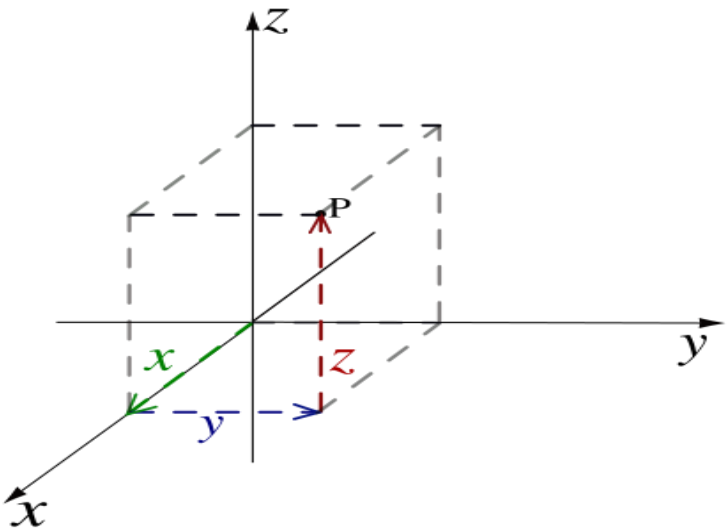
إن دراسة الحركة كما ذكرنا يتم من خلال نقطة ثابتة (نظام نسبي ثابت) حيث يمكن اعتبار خط البداية في ركض (١٠٠م) هي النقطة النسبية وفي رمي الثقل حافة الدائرة من جهة مجال الرمي وفي الوثب الطويل يمكن اعتبار لوحة النهوض هي النقطة النسبية .

ومن خلال ما تقدم يتضح لنا بان النظام الإحداثي أو النسبي للحركة هو دراستها على أساس عدد من الثوابت في الفراغ كما أن مفهوم النظام الإحداثي هو تعيين مجموعة من الثوابت يتحدد على أساسها مقدار حركة الجسم و اتجاهها وهذه الثوابت هي عبارة عن الإحداثي الأفقي (X) و الإحداثي العمودي (Y) ويمثل نقطة تلاقي هذين الاحداثيين منشأ الحركة أو النظام النسبي الثابت الذي تعزى إليه الحركة أن طريقة رسم الاحداثيين الأفقي والعمودي لتحديد موضع الحركة ما تتم عندما تحدث الحركة في سطح أما إذا تمت الحركة في الفراغ فلا

يكفي تحديد الحركة بواسطة احداثيين فقط وإنما يستحدث محور أفقي آخر يتعامد مع المحور الأفقي (X) ويطلق عليه محور(Z) .

ولدراسة حركة جسم يلزمنا الاتي :

هيكل رصد / مكون من ثلاثة محاور متماسكة و ملتقية في نقطة ويستحسن أن تكون متعامدة بعضها على بعض وينسب موضع الجسم إلى هذا الهيكل وتبدو هذه المحاور الثلاثة المتعامدة على بعضها كما نسب محاور للحركات الرياضية .



الشكل يوضح الثلاثة المحاور (السيني والصادي والعرضي)

١) (X) المحور الأفقي أو المحور السيني : ويكون في اتجاه الحركة الرئيسي ومواز لسطح الأرض .
٢) (Y) المحور الراسي أو الصادي : ويكون في اتجاه الجاذبية الأرضية أي عمودي على السطح الأرض .
٣) (Z) المحور العرضي : ويكون مواز لسطح الأرض ولكن عمودي على المحور الأفقي أي مقاطع للاتجاه الرئيسي للحركة .

الفصل الثالث

- الجاذبية الأرضية.
- الجاذبية.
- مركز ثقل الجسم.
- طرق تحديد مركز الثقل.
- تحديد مركز الثقل الجسم.
- وسائل تحديد مركز ثقل الجسم.
- الاتزان والاستقرار.
- أوضاع الاتزان.
- الاتزان الخطي والاتزان الدوراني.
- الثبات الخطي والثبات الدوراني.
- الاتزان الثابت وغير الثابت والمتعادل.
- تحليل أداء التوازن.
- لاحتفاظ بالتوازن في الأوضاع الثابتة.
- القوى العضلية كروافع ميكانيكية.

الجاذبية الأرضية

إذا حملت حجرا ثم تركته فأنها يسقط على الأرض، فما الذي يؤدى إلى هذا السقوط ؟ أن الحجر كغيره من الأشياء لا يتحرك ما لم تدفعه أو تجره كما أنه لا يتحرك إلى أعلى ما لم يقذف أو يسحب في ذلك الاتجاه .

فحقيقة كون جميع الأجسام تسقط تعنى أنه لابد من وجود قوة ما تجذبها إلى الأرض. وباستطاعتك الإحساس بهذه القوة إذا حملت جسما ما بيدك أو إذا ما حاولت رفعه عن الأرض هذه القوة تسمى الوزن وكان اسحق نيوتن أول من أكتشف أسرار سقوط الأجسام وثقلها وعلاقة جاذبية الأرض بذلك .

ويقال انه بينما كان نيوتن جالساً في حديقة أمه رأى تفاحة تسقط من شجرة. فاخذ يفكر في السبب الذي يجعل التفاحة تسقط على هذا الشكل التالي. وفسر ذلك بأن كلا من الأرض والتفاحة يتجاذبان فيما بينهما. فالأرض تجذب التفاحة والتفاحة تجذب الأرض. لكن ضخامة الأرض الهائلة تجعلها لا تتأثر بجذب التفاحة لها. بينما التفاحة تنجذب أي تسقط نحو الأرض .

أن هذه القوة الجاذبة للأجسام تسمى الجاذبية الأرضية. وهي القوة التي تشد جميع الأجسام إلى سطح الأرض وتؤدى بالتالي إلى أن يكون لها وزن. ولقد تحقق نيوتن أيضا من أن قوة الجاذبية الأرضية تتناقص بابتعاد الجسم عن الأرض. فالشخص في طائرة أو منطاد عال لا يزن عليها بقدر ما يزن على الأرض لان شد الجاذبية الأرضية له يكون أضعف. ونحن عادة لا نلاحظ هذا الفرق في الوزن لضالته في مثل هذه الحال .

الجـــاذبيـة

وضع العالم نيوتن قانون الجاذبية العام بعد الرواية المشهورة عنه وهي سقوط التفاحة على رأسه بينما كان نائما تحت شجرة، فتوصل إلى أن القوة التي أثرت على التفاحة لتسقط على الأرض هي نفس القوة التي تجذب القمر إلى الأرض. وتبين أيضاً أن قانون الجذب العام لنيوتن ينطبق على القوة المتبادلة بين الكواكب والأجسام المادية على حد سواء .

إن من أهم العوامل المحددة للأداء هو الجاذبية الأرضية ، فهي تؤثر بشكل مباشر كما تعمل على التأثير بشكل غير مباشر ، فبدون وجود الجاذبية الأرضية فان لاعب الوثب الطويل من الممكن أن يؤدي وثبة طولها لا نهائي. لذا فقد صاغ نيوتن قانون الجاذبية على النحو التالي :

" تتناسب قوى الجذب بين الأجسام تناسباً طردياً مع كتلتها وتناسباً عكسياً مع المسافة بينهما " وقد وضع معادلة جبرية لهذا القانون هي :

$$Fg = G \frac{m1\ m2}{d^2}$$

حيث (Fg) هي قوة الجذب (G) هي مقدار ثابت ، وأن كلاً من (m1,m2) هي كتل كل من الأرض واللاعب بالترتيب (d) هي المسافة بين مراكز هذه الكتل وهما مركز ثقل اللاعب ونصف قطر الكرة الأرضية وتتناسب هذه القوة مع طول نصف قطر الأرض تناسبا عكسيا كما تتناسب طرديا مع كتلة اللاعب .

وفي مجال التطبيق البيوميكانيكي، فإن قوى الجذب الوحيدة التي يمكن مناقشتها هي قوى جذب الأرض للأجسام الموجودة عليها ، لذا فإن الفرق الكبير جداً بين كتلة أي جسم مهما تعاظمت كتلة الكرة الأرضية يجعل من قوة الجذب ظاهرة عامة تخضع لها جميع الأجسام في أي موضع على الكرة الأرضية. وقوة الجذب التي تعمل بها الأرض على الجسم هي ما نعرفه الآن بالوزن والمعدل التي تجذب به الأرض أي جسم في اتجاهها هو (٩,٨١ م/ث٢) وهي محسوبة من كتلة الأرض والمسافة بين سطحها ومركزها .

مركز ثقل الجسم

لقد تم وصف مركز ثقل الجسم بأنه النقطة التي يتزن حولها جسم ما، أو هي النقطة التي يمكن أن يتمركز حولها وزن الجسم .

تختلف الأجسام من حيث شكلها ومظهرها الخارجي، وان كانت متساوية الوزن، ويتكون جسم من عدد كبير من الجزيئات، تتأثر جميعها بقوة جذب الأرض ويكون اتجاهه عادة نحو الأسفل (باتجاه مركز الأرض) فتجد أن محصلة جميع القوى المؤثرة في مجموع الأجزاء التي يتكون منها الجسم تساوي وزن الجسم. وإذا أردنا إن نستخرج محصلة هذه القوى المؤثرة في الجسم نجدها تتركز في نقطة واحدة من نقاطه تسمى بمركز ثقل الجسم أي النقطة التي تتركز فيها قوة جذب الأرض باتجاه مركز الأرض، وعلى هذا الأساس يمكننا تعريف مركز ثقل الجسم بأنه (النقطة التي يظهر بأن جميع أوزان نقاط الجسم وأجزاءه متركزة فيها) .

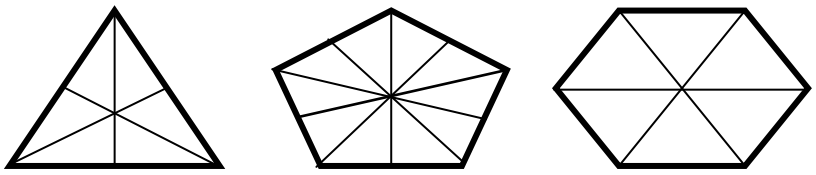
طرق تحديد مركز الثقل

ويمكن أن نجد نقطة مركز ثقل الجسم المنتظم بسهولة حيث تكون النقطة في مركزها مثل (الكرات والأدوات مثل القرص والثقل وغيرها)، بالإضافة إلى ذلك فان محاور الحركات التي يدور حولها الجسم والمسطحات التي يدور فيها الجسم تتلاقى في هذا المركز .

أما بالنسبة إلى الجسم الغير المنتظم مثل (جسم الإنسان) فأن طريقة تحديد مركز ثقله يتم من خلال أسس علمية مختلفة. فقد تم تحديد مركز ثقل جسم الإنسان في الوقت الحاضر، من خلال برنامج حاسوبي، يغذى بمعلومات وزن الجسم ووزن كل جزء من أجزاءه وبعُد مراكز ثقلها عند المحور السيني والصادي.

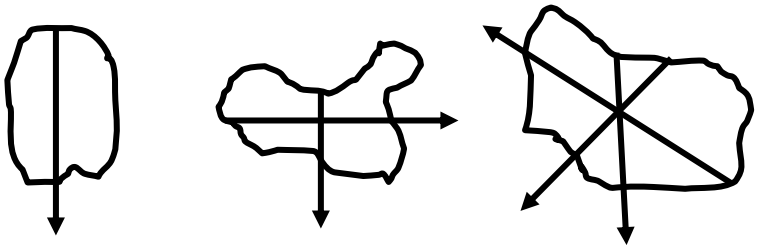
أولاً: الأجسام منتظمة الشكل :-

في الجسم الصلد المنتظم نجد أن مركز الثقل يتمركز في وسطها أي في مكان تقاطع الخطوط جميعها يكون مركز الثقل.



ثانياً: الأجسام غير منتظمة الشكل :-

أما في الأجسام غير المنتظمة فان تحديد مركز الثقل يتم من خلال تعليق ذلك الجسم من عدة نقاط ولعدد من المرات، وتؤشر نقطة اتزانه بالخط الراسي النازل من تلك النقطة باتجاه الجذب الأرضي. نقطة تقاطع هذه الخطوط تمثل مركز الثقل

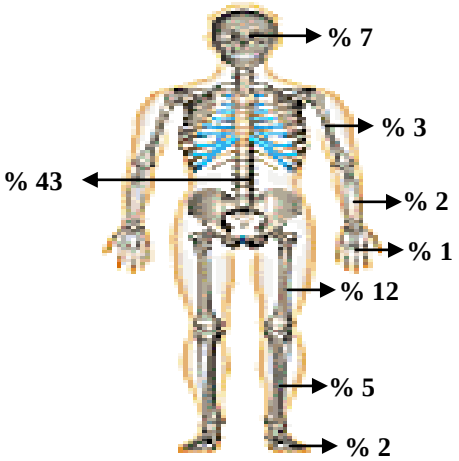


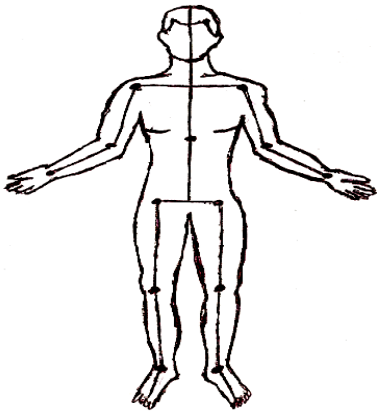
تحديد مركز الثقل الجسم

من الدراسات التي اهتمت بتحديد مركز ثقل الجسم دراسة (براون و فيشر) حيث حددوا ارتفاع مركز ثقل الجسم بـ (٥٤,٨ ٪) من طول الشخص مقاسا من أسفل القدم ، مع الاختلاف في هذه النسبة بين الرجال والنساء، لان ارتفاع مركز ثقل الجسم عند الرجال أعلى منه عند النساء ، حيث أشار (كرو سكي) إلى أن متوسط ارتفاع مركز الثقل عند الرجال بلغ (٥٦,١٨ ٪) بينما بلغ المتوسط عند النساء (٥٥,٤ ٪). وبدراسة أجزاء جثث الموتى أمكن تحديد أوزانها ومكان نقطة مركز ثقل كل جزء وتم تعميمها، وفي هذا الجدول يتم توضيح نسبة أوزان أجزاء الجسم منسوبة لوزن الجسم كله وهذه النسب تنطبق على البالغين ذو النمط البدني العادي :

نسبة أوزان أجزاء جسم الإنسان (الوزن الكلى ١٠٠ ٪)

أجزاء الجسم	النسبة المئوية	بالتقريب
الرأس	٧,٠٠ %	٧ %
الجذع	١٢,٧٠ %	٤٣ %
الفخذ	١١,٥٨ %	١٢ %
الساق	٥,٦٧ %	٥ %
القدم	١,٧٩ %	٢ %
العضد	٣,٣٦ %	٣ %
الساعد	٢,٢٨ %	٢ %
الكف	٠,٨٤ %	١ %





يتم تعيين مراكز ثقل أعضاء الجسم المختلفة على الصورة وهذا يتم بقياس المسافة بين كل مفصلين لأعضاء الجسم المختلفة على الصورة. نضرب المسافة في رقم الوزن النسبي الموضح في الجدول السابق والتي تم الحصول عليها عن طريق التجربة على أجسام ميتة كثيرة اخذٍ معدل وسطها بالنسبة المئوية مقياسا لمجموع وزن الجسم .

وسائل تحديد مركز ثقل الجسم

لتحديد مركز ثقل الجسم وإيجاده أثناء الحركات الرياضية يجب أن نأخذ في الاعتبار أن جسم الإنسان يختلف عن الأجسام الصلدة التي يسهل إيجاد مركز ثقلها حيث يتكون جسم الإنسان من أجزاء مختلفة في الطول والوزن، واختلاف أوزانها النوعية لان الجسم يتكون من عظام وعضلات وشحوم ومواد أخرى، ولكي نحدد مركز ثقل الجسم أثناء الحركات الرياضية هناك طريقتين هما :

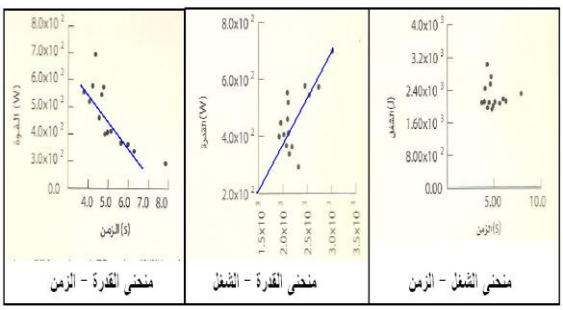
- الطريقة الأولى : التحليل البايوميكانيكي باستخدام التحليل اليدوي .
- الطريقة الثانية : التحليل البايوميكانيكي باستخدام الملاحظة .
- الطريقة الثالثة : التحليل البايوميكانيكي باستخدام التصوير الفيديو

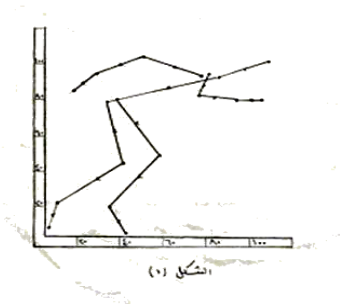
اولاً: التحليل البايوميكانيكي باستخدام التحليل اليدوي :

لتحديد مركز ثقل الجسم نتبع الخطوات التالية :

١- تحديد الصورة في الوضع المحدد المراد إيجاد مركز ثقل الجسم فيه .
٢- تثبيت الصورة على ورقة مربعات بيانية .
٣- تحديد مفاصل الجسم بنقط صغيرة على الصورة .
٤- تحديد نقاط مراكز ثقل أجزاء الجسم .
٥- تحديد الإحداثيات البيانية لكل نقاط مراكز أجزاء الجسم على المحورين السيني والصادي .
٦- تطبيق المعادلة التالية .

$$\frac{\text{مجموع القوى} \times \text{أبعادها}}{\text{وزن الجسم}}$$




الشكل (٥)

ثانياً: التحليل البايوميكانيكي باستخدام الملاحظة :

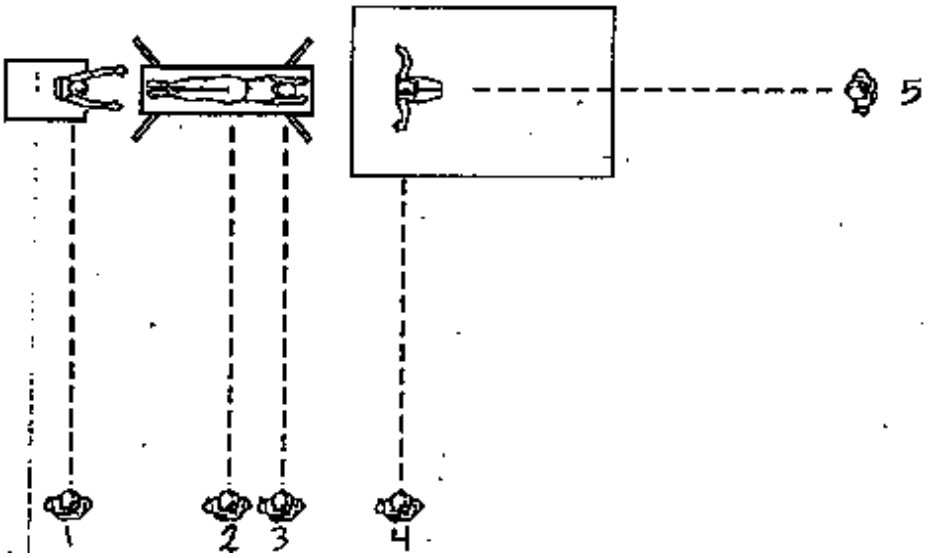
تعد طريقة التحليل البايوميكانيكي باستخدام الملاحظة المرئية من الطرق الأكثر استخداماً لتحليل الأداء المهاري من خلال المعلومات التي يتم الحصول عليها من ملاحظة الأداء ومقارنته بما يجب أن يكون من خلال المعلومات المخزونة مسبقا في الذاكرة فيصدر المدرب أو المدرس توجيهاته لتحسين الأداء كلياً أو جزئياً. وخلال هذا النوع من التحليل الحركي لا يتم استخدام أي وسيلة من وسائل التسجيل أو القياس (تصوير سينمائي، تصوير فيديو، أجهزة قياس،.....) ولغرض استخدام هذا الأسلوب من أساليب التحليل (التحليل بالملاحظة) بشكل أكثر نجاحاً فإننا سنقوم بذكر التفاصيل الدقيقة لهذا الأسلوب بشيء من التفصيل وذلك لإدراكنا بأهميته الكبيرة سواء في عمليات التدريب أو عملية التدريس.

هناك مجموعة من الخطوات يجب إتباعها عند استخدام أسلوب التحليل بالملاحظة وهي :

١- الاستعدادات الضرورية للملاحظة .
٢- تحديد الهدف من المهارة .
٣- تحديد المميزات الخاصة للمهارة .
٤- تجزئة المهارة إلى عناصرها الأساسية .
٥- استخدام المعرفة البايوميكانيكية في تحليل المهارة .
٦- اختيار الأخطاء التي تحتاج إلى تصحيح .
٧- استخدام الأساليب الملائمة لتصحيح الأخطاء .

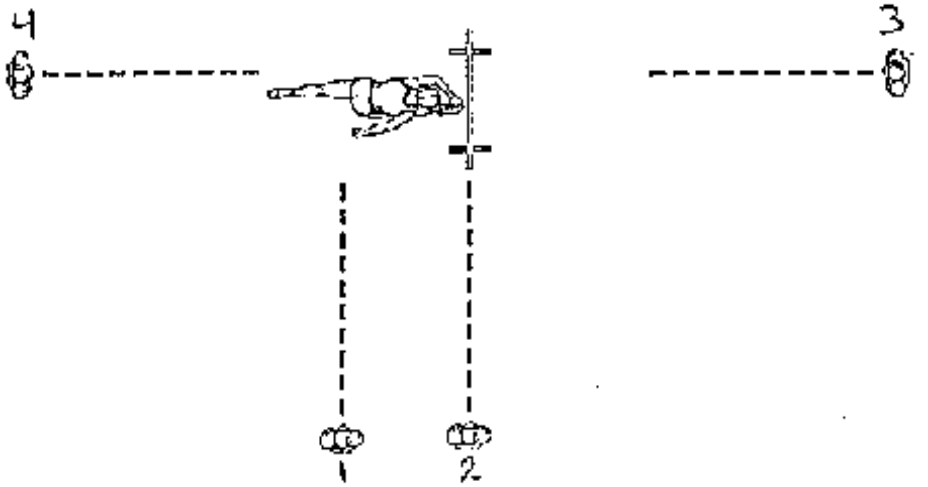
وقد يتصور المدرب أو المدرس انه سيكون بحاجة إلى أن يمر في كل هذه الخطوات السبعة في كل مرة يريد فيها تحليل المهارة ولكننا نقول انه ومع قراءة وفهم هذه الخطوات ومع القليل من الخبرة والتدريب سيجد المدرب أو المدرس نفسه قادرا على حمل معظم هذه الخطوات في ذهنه وإنها ستأتي متسلسلة مع ملاحظة المهارة، حيث أن واحدة من أهم التحديات التي تواجه المدرب أو المدرس على حد سواء عند ملاحظته للمهارة أو الحركة الرياضية هي تحديد الخطأ ومن ثم إصلاحه بالشكل الملائم لذلك فإذا لم يكن المدرب أو المدرس على دراية تامة بخطوات التحليل بالملاحظة فانه سيكون من الصعب إذا لم يكن من المستحيل إن يتطور إنجاز الرياضي .

طريقة الملاحظة لمهارة القفز على الحصان في رياضة الجمباز.



أماكن التواجد للملاحظة

وكذلك عندما يريد مدرب ركض الموانع أن يلاحظ حركة رياضيه أثناء عبور المانع فعليه أن يلاحظ المهارة من الجانب وبزاوية قائمة قبل عبور المانع وأثناء العبور وكذلك ملاحظة الرياضي من الأمام ومن الخلف كما هو واضح في الشكل التالي.



الملاحظة في ركض الموانع

ثالثاً: التحليل البايوميكانيكي باستخدام التصوير الفيديو:

لقد أدى تقدم وتطور الأداء المهاري للفعاليات والألعاب الرياضية إلى إيجاد أساليب أخرى من التحليل البايوميكانيكي أكثر موضوعية من أسلوب التحليل بالملاحظة، حيث أن تحليل المهارات الحركية عادة ما يكون من الصعب تحقيقه بالملاحظة ومع زيادة سرعة الأداء الحركي تزداد معه صعوبة الملاحظة فالعين المجردة لا يمكن أن تحلل بصورة دقيقة ما يتم في زمن قدره (٠,٢٥ ثانية) لذا فان ملاحظة حركة الذراعين أو الرجلين تعتبر من الأمور الصعبة في الحركات ذات الأداء السريع ومن هذا المنطلق أوجدت عدة وسائل لتحليل أكثر موضوعية من خلال استخدام الأجهزة والأدوات العلمية ولعل من أكثر هذه الأساليب استخداما في دراسات وبحوث علم البايوميكانيك هو أسلوب التحليل باستخدام التصوير، حيث يتمثل الفرق بين أسلوب التحليل باستخدام التصوير وأسلوب التحليل بالملاحظة في أن أسلوب التحليل باستخدام التصوير يعطي فرصة في إعادة عرض ما يتم ملاحظته أثناء أداء المهارة أو الحركة الرياضية بالإضافة إلى انه يمكن من معرفة دقائق الأمور من خلال استخدام أسلوب التحليل بالعرض البطيء وإيقاف الصورة أو تحريك الفيلم (صورة – صورة) .

وتختلف مستويات التحليل بأسلوب التصوير بالنسبة للدارسين، فقد يتم الاكتفاء باستخدام أسلوب عرض شريط الفيديو بالسرعة الاعتيادية أو بالسرعة البطيئة عند المبتدئين أما بالنسبة للمختصين بمجال البايوميكانيك فغالبا ما يتعدى الأمر عرض الصورة بالحركة البطيئة إلى دراسة وتحليل الفيلم بطريقة (صورة – صورة) والتي تستخدم فيها الأجهزة ذات التقنية العالية، وان تحديد مستوى الدراسة (مبتدئة أو متخصصة) تهدف إلى تحديد الإجراءات المتبعة في الدراسة أو البحث، وبصورة عامة فان اختلاف مستويات التحليل باستخدام التصوير من حيث صعوبتها يرتبط بالدرجة الأولى بالإمكانيات المادية والبشرية إضافة إلى الهدف من الدراسة والمستوى العلمي والأكاديمي المقدمة له .

إن التحليل البايوميكانيكي باستخدام التصوير يتصف بالأغراض التالية :-

١- **التحليل بغرض التعرف على الخصائص التكنيكية للمهارة أو الحركة .**
٢- **التحليل بغرض الكشف عن عيوب الأداء .**
٣- **التحليل بغرض الدراسة النظرية للنماذج الحركية .**

التحليل بغرض التعرف على الخصائص التكنيكية للمهارة

يعتبر هذا النوع من التحليل من أسهل أنواع التحليل باستخدام التصوير لما يتميز به من دراسة المسارات الحركية للمهارة من حيث مجموعة من المكونات الميكانيكية كأن تتم دراسة قوانين الحركة الخطية أو الدورانية لحساب قيم المتغيرات المميزة للمسار وتحديد أهم خصائصه .

التحليل بغرض الكشف عن عيوب الأداء

إن هذا النوع من التحليل يتميز بمعرفة مسبقة عن الخصائص الميكانيكية المميزة للمهارة أو الحركة المدروسة على أساس إن التحليل يتم بمقارنة القيم المعروفة مسبقا والتي تمثل الحدود المثلى للمنحنيات النظرية مع القيم التي نحصل عليها من أداء المهارة أو الحركة للتعرف على أوجه القصور في الأداء .

التحليل بغرض الدراسة النظرية للنماذج الحركية

وهو من أصعب أنواع التحليل باستخدام التصوير وأكثرها تقدما حيث تتم دراسة مسارات بعض المهارات الرياضية على نماذج مبتكرة بهدف دراسة إمكانية ظهور احتمالات حركية جديدة، وهنا تظهر أهمية البحوث في هذا المجال لتعديل وتطوير طرق الأداء الحركي للعديد من المهارات أو الحركات الرياضية وهذا النوع يظهر بوضوح في رياضات مثل الجمناستيك أو الغطس في الماء .

ومن هنا جاءت أهمية إلمام المدربين وخصوصاً في رياضات المستويات العليا بأسس التصوير والتحليل فكما هو معلوم أن سرعة تردد آلة التصوير (الفيديو) الاعتيادية هي ٢٥ صورة / ثانية. غير أن مثل هذه السرعة تكون غير كافية للتحليل الدقيق لمعظم الحركات الرياضية حيث يتطلب استخدام سرعات أعلى من ذلك، حيث يتم اخذ أعداد كبيرة من الصور في وحدات زمنية صغيرة، وان التحكم في سرعة آلة التصوير يعتمد بالأساس على الحركة أو المهارة المراد تصويرها فكلما كانت الحركة سريعة أو تتم في زمن قصير كلما كانت الحاجة إلى استخدام آلات تصوير ذات سرعات عالية فعندما نريد تصوير حركة المشي مثلا أو الركض لمسافات طويلة يكون بالإمكان استخدام سرعة اعتياديه لآلة التصوير، ولكن عندما يراد تحليل مرحلة النهوض في الوثب الطويل أو حركة الذراع في الإرسال بالتنس عندها يجب استخدام سرعات عالية .

وعموماً فأن بحوث التربية الرياضية تتطلب آلات تصوير ذات سرعة تردد تتراوح ما بين (٣٢-١٠٠) صورة / ثانية وهذا يتوقف على طبيعة المهارة أو الحركة المراد تحليلها فمثلا عندما يراد تحليل مرحلة النهوض في الوثب الطويل والتي وجد أنها تستغرق ما بين (٠,١٢ – ٠,١٤) ثانية، عندها يفضل استخدام آلة تصوير بسرعة تردد ١٠٠ صورة / ثانية وذلك انسجاماً مع الأسس الفنية للحركة حيث يمكن الحصول على ١٢- ١٤ صورة وهذا ما يجعل عملية التحليل والتي ستتم لاحقا أكثر دقة بالنتائج. أما عندما يراد حساب طول الضربة وتكرارها لمسافة ٢٠متر من مسافة السباق الكلية لسباق (٥٠ متر سباحة حرة) عندئذ يمكن الاكتفاء بسرعة ٣٢ صورة / ثانية .

❖ المبادئ الأساسية للتصوير :

نظراً لأهمية التصوير في مجال بحوث ودراسات البايوميكانيك ولكي يتم الحصول على نتائج موضوعية ينبغي على الباحث الإلمام بأسس التصوير والإجراءات المتبعة وكذلك الإمكانيات الواجب توفرها عند القيام بعملية التصوير ومن ثم إجراءات التحليل. وفيما يلي أهم النقاط الأساسية التي يجب إجراءها عند التصوير والتحليل :-

❋ أولا- إجراءات ما قبل التصوير:

هناك مجموعة من الإجراءات الضرورية التي يجب على الباحث أو الدارس تحديدها وتنفيذها قبل التصوير ومن أهم هذه الإجراءات :-

١- التحديد المسبق للمستوى أو المستويات الفراغية التي تتم عليها الحركة أو المهارة الرياضية المراد تصويرها، حيث أن هذا التحديد المسبق سوف يساعد في تحديد مكان وضع آلة التصوير بالنسبة للمستوى الفراغي الذي تتم عليه الحركة وعدد آلات التصوير ففي حالة كون الحركة أو المهارة تؤدى على مستوى فراغي واحد مثل حركة الرجلين في مرحلة النهوض في الوثب الطويل فانه يمكن استخدام آلة تصوير واحدة توضع على احد الجانبين أما في حالة كون الحركة أو المهارة تتم على أكثر من مستوى فراغي واحد فانه يفضل استخدام أكثر من آلة تصوير واحدة حتى تتحقق الرؤية الكاملة لتفاصيل الأداء كأن توضع آلة تصوير من الجانب وآلة أخرى من الأمام أو من الأعلى. ولكن هذا لا يمنع استخدام أكثر من آلة تصوير واحدة عندما يراد تحليل الحركات أو المهارات التي تؤدى على مستوى فراغي واحد عندما يكون المطلوب دراسة هذه الحركة بدرجة عالية من الدقة .

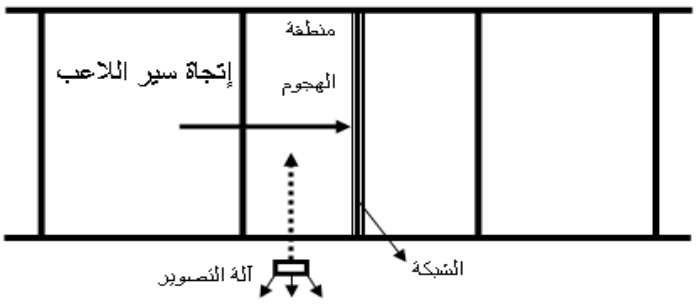
٢- يجب على الباحث أو الدارس أن يحدد العينة التي سيتم تصويرها ومن ثم تحليلها وكذلك الأسلوب الذي سيختار بموجبه هذه العينة حيث أن تحديد عينة البحث وعددهم وعدد المحاولات المصورة لكل واحد منهم، كلها أمور يجب أن تكون محسومة قبل البدء بالتصوير .

٣- هناك بعض القياسات الواجب تسجيلها والتي تحتاج إليها بعض الدراسات أو البحوث، وان هدف التحليل هو الذي يحدد هذه القياسات مثل (العمر، الوزن، طول الجسم، أطوال أجزاء الجسم،.....الخ) حيث يتم تسجيل هذه البيانات في استمارة خاصة لكل فرد من أفراد العينة .

٤- يجب تحضير لوحة ترقيم تستخدم لترقيم اللاعبين أو ترقيم محاولاتهم وعادة ما يتم تصوير هذه اللوحة قبل البدء بتصوير لكل محاولة حتى يمكن معرفة رقم المحاولة أثناء تحليل الفيلم .

٥- يجب على الباحث أو الدارس أن يحدد مسبقا فريق العمل الذي سيعمل معه حيث يفضل أن تتم الاستعانة بأفراد لهم خبرة في هذا المجال من حيث التصوير واخذ القياسات المطلوبة وان طبيعة وعدد أفراد فريق العمل يتحدد من خلال أهداف البحث أو الدراسة والإجراءات المتبعة وعدد أفراد العينة التي سيتم تصويرها وعدد المحاولات لكل فرد من أفراد العينة .

❋ ثانيا- موضع آلة التصوير:



يجب أن يكون وضع آلة التصوير ثابتا أثناء تصوير الحركة أو المهارة الرياضية ومن الخطأ تحريك آلة التصوير بأي اتجاه من الاتجاهات أثناء التصوير حيث أن تحريك آلة التصوير سوف يؤدي إلى اختلاف في القيم الميكانيكية المدروسة عن قيمها الحقيقية. لذلك ولغرض الحفاظ على ثبات آلة التصوير يتم استخدام (حامل ثلاثي) حيث تثبت عليه آلة التصوير بشكل جيد .

❀ ثالثا- تعامد آلة التصوير:

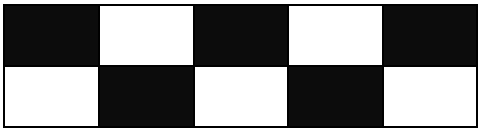
يجب أن يتحرك اللاعب الذي يتم تصويره بزاوية قائمة (٩٠ درجة) مع آلة التصوير (البعد البؤري للعدسة) وتعتبر هذه النقطة غاية في الأهمية عندما يقوم الباحث أو الدارس بقياس الزوايا حيث أن القيم الحقيقة للزوايا لا يمكن الحصول عليها إلا في حالة تحرك اللاعب بزاوية قائمة مع آلة التصوير فقط، حيث أن الوضع غير العمودي لآلة التصوير يؤدي إلى اختلاف في القيم الميكانيكية مثل الزوايا وان مقدار هذا الاختلاف في قيم الزوايا يكون حسب وضعية تحريك آلة التصوير عن وضعها العمودي .

❀ رابعا- الإضاءة:

تلعب الإضاءة دورا مهما في التصوير وخصوصا إذا ما كان التصوير يتم داخل القاعات الداخلية أو المختبرات وهناك مجموعة من العوامل تحدد الشدة المطلوبة من الإضاءة وهي :

١- سرعة تردد آلة التصوير : فكلما كانت سرعة تردد آلة التصوير عالية كلما احتجنا إلى شدة إضاءة اكبر .
٢- مكان آلة التصوير عن موضع الحركة : فكلما ازدادت المسافة بين آلة التصوير ومكان اللاعب كلما كانت الحاجة اكبر للإضاءة .
٣- طول مسافة الحركة أو المهارة : كلما كانت مسافة الحركة أو المهارة المؤدى طويلة (مثل تصوير الركضة التقريبية للوثب الطويل أو السباحة) كلما كانت الحاجة لشدة إضاءة اكبر .

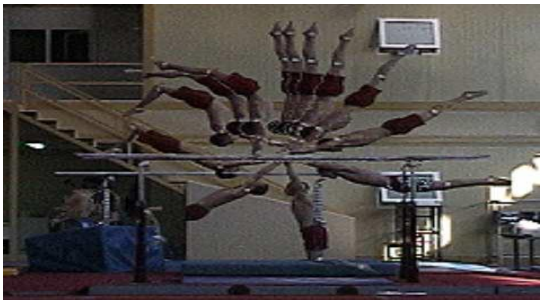
❀ خامسا- مقياس الرسم:



يجب استخدام وحدة قياس (مقياس الرسم) لنتمكن من خلالها قياس المسافة أو الارتفاع أثناء أداء الحركات التي تتطلب ذلك، وغالبا ما يتم استخدام وحدة قياس على شكل مربعين طول ضلع كل مربع ٢٠ سنتمتر وتكون المسافة بين مركزي المربعين هي ١ متر .

❋ سادسا- تحديد نقاط مفاصل الجسم والأدوات:

أحيانا ولكي يتم تحديد حركة جسم اللاعب أو احد أجزائه بصورة واضحة جدا تثبت على كل مفصل نقطة واحدة بعلامات يكون لونها مغايراً للون الملابس أو خلفية الصورة وغالبا ما تكون هذه النقاط هي: (الرأس، الكتف، المرفق، الرسغ، الورك، الركبة، الكاحل) .وفي الحركات أو المهارات التي يتم فيها استخدام الكرات أو الأدوات مثل فعاليات الرمي (الثقل، الرمح، القرص) أو القفز بالزانة أو التنس أو في كرة الطائرة ..... الخ فيجب أن يكون لون الأداة أو الكرة مغايرا للون الجسم والملابس التي يرتديها اللاعب والمجال الذي تتم فيه الحركة .



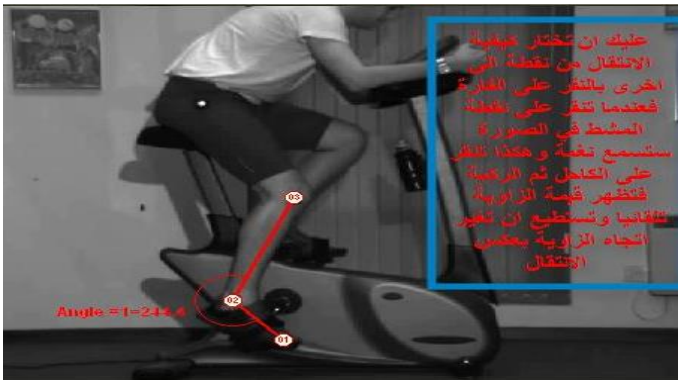
أولاً : المتغيرات الميكانيكية التي يمكن قياسها من خلال التصوير :

من خلال التصوير هناك مجموعة من المتغيرات الميكانيكية التي يمكن الحصول عليها، وان الحصول على هذه المتغيرات يعتمد على هدف الدراسة أو البحث حيث أن اختيار المتغير الميكانيكي المناسب بما يشمله من مجموعة إجراءات سوف تساعد في الكشف على المكونات الداخلية لأي أداء حركي، ويمكن استخدام أو الحصول على أكثر من متغير ميكانيكي واحد خلال التحليل الواحد ووفقا لأهداف التحليل من الحركة أو المهارة المؤذة، ومن هذه المتغيرات الميكانيكية :

ثانياً : قياس الزوايا :

تتكون الزاوية من ضلعين متصلين بنقطة واحدة وغالبا ما يتم استخدام برامج أجهزة الحاسوب في حساب الزوايا بعد تحديد الضلعين المكونة لها ومن الضروري أن نؤكد هنا على حقيقة غاية في الأهمية ألا وهي أن مقدار الزاوية لا يتأثر بحجم الصورة المعروضة أو بمعنى أخر أن مقدار الزاوية لا تتأثر بمقدار طول أو قصر الضلعين المكونين لها ولكنها تتأثر بمقدار تقارب أو تباعد الضلعين المكونين لها. وهناك مجموعة من الزوايا التي يمكن حسابها من خلال التحليل ومن هذه الزوايا :

١- زوايا مفاصل الجسم: (الورك، الركبة، المرفق ، الكتف، الرسغ، الكاحل) .
٢- الزوايا التي يشكلها الجسم في لحظة من لحظات الأداء (النهوض، الاقتراب، الميل، الدفع) .
٣- زوايا الكرات أو الأدوات (الانطلاق، الارتداد، الهجوم، السقوط) .



ثالثاً : قياس المسافة الأفقية والارتفاع العمودي :

يستخدم هنا لحساب المسافة الأفقية والارتفاع العمودي وحدة القياس (مقياس الرسم) والذي ذكر في الفقرة الخامسة من المبادئ الأساسية للتصوير ، حيث غالباً ما يتم استخدام مقياس للرسم ببعد حقيقي (١ متر) وعند التصوير والتحليل يتم حساب مقدار هذا المقياس في الصورة ومن ثم نتمكن من حساب أي مسافة أفقية أو ارتفاع عمودي، فمثلاً إذا كانت المسافة الحقيقية لمقياس الرسم هي (١ متر) وكانت تعادل في الصورة مثلاً (٥ سنتمتر) وان المسافة الأفقية أو الارتفاع العمودي الذي تم قياسه في الصورة كان (١٥ سنتمتر) فأنه يعادل في الحقيقة (٣٠٠ سنتمتر) (٣ متر) .

رابعاً : قياس الزمن :

إذا ما علمنا أن آلة التصوير تتحرك بسرعة تردد ثابتة يتم اختيارها على أسس واعتبارات تم ذكرها مسبقاً عندها يمكن معرفة الزمن لكل صورة وذلك من خلال قسمة العدد (١) على سرعة آلة التصوير فإذا كانت سرعة آلة التصوير مثلا (٥٠ صورة/ثانية) فأن زمن الصورة الواحدة يكون (٠,٠٢ ثانية) ومن خلال معرفة زمن الصورة الواحدة عندها يمكن معرفة زمن الحركة أو المهارة المراد تحليلها فمثلاً عندما يراد تحليل مرحلة النهوض في الوثب الطويل فإذا كانت سرعة آلة التصوير المستخدمة ٥٠ صورة / ثانية يتم حساب عدد الصور التي تستغرقها مرحلة النهوض وهذا يتم من خلال تحليل الفيلم فإذا كان عدد الصور لهذه المرحلة هو ٨ صور فان زمن مرحلة النهوض= عدد الصور × زمن الصورة الواحدة
٨ × ٠,٠٢ = ٠,١٦ ثانية .

خامساً : قياس السرعة والتعجيل :

يمكن قياس السرعة سواء كانت سرعة الجسم ككل أو سرعة احد أجزاءه (الذراعين، الرجلين،.....الخ) أو سرعة انطلاق الأدوات المستخدمة (الثقل، الرمح،.....الخ) أو سرعة انطلاق الكرات (التنس، الطائرة) وإلى غير ذلك من خلال حساب المسافة أو الارتفاع وكذلك حساب الزمن .

ولنأخذ مثالا على ذلك فإذا ما أردنا حساب سرعة مركز ثقل الجسم خلال مرحلة النهوض في الوثب الطويل وكانت سرعة آلة التصوير ١٠٠ صورة / ثانية وكان مقياس الرسم ١٠٠ سنتمتر في الحقيقة يعادل ٥ سنتمتر في الصورة وكانت المسافة التي يقطعها مركز ثقل الجسم خلال مرحلة النهوض عند تحليل الفيلم هي ٥ سنتمتر وان مرحلة النهوض تستغرق ١٠ صور فمن خلال المعطيات التالية نتمكن من حساب سرعة مركز ثقل الجسم خلال .

١- زمن الصورة الواحدة = $\frac{1}{100}$ = 0.01 ثانية

إذاً زمن مرحلة النهوض = زمن الصورة الواحدة × عدد الصور

= 0.01 × 10 = 0.1 ثانية

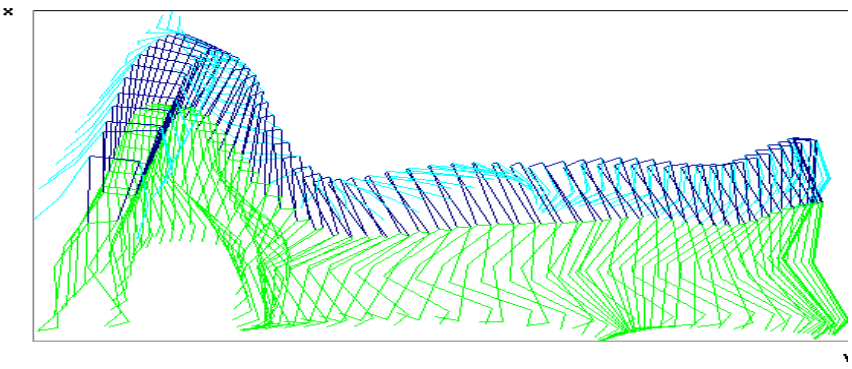
٢- المسافة الحقيقية التي يتحركها مركز ثقل الجسم = 100 سنتمتر

السرعة = $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$ = $\frac{100}{0.1}$ = 1000 سنتمتر / ثانية = 10 متر / ثانية

اما حساب التعجيل فيتم بعد احتساب السرعة ومن خلال القانون الاتي :

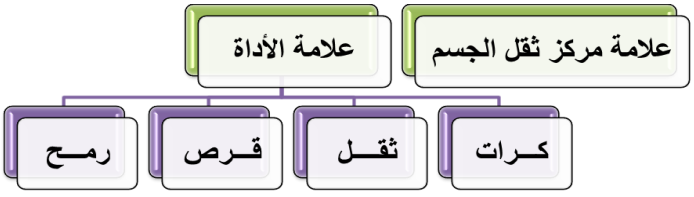
التعجيل = $\frac{\text{السرعة النهائية – السرعة الابتدائية}}{\text{الزمن}}$

سادساً : رسم المسار الحركي :



المسار الحركي هو خط يرسم المهارة الحركية من بدايتها وحتى نهايتها عن طريق رسم مسارات لنقاط معلمة على الجسم أو احد أجزائه وإذا ما أردنا رسم المسار الحركي للجسم كاملا خلال أداء حركة ما أو مهارة معينة مثل المسار الحركي في فعاليات الرمي أو في حركات الجمناستيك ..... الخ وان أهم العلامات التي يتم تعينها على الجسم لرسم المسار الحركي هي :

وأحياناً يضاف إليها علامتي :



تبحث الإستاتيكا في شروط اتزان الأجسام واستقرارها والقوى المؤثرة عليها، بمعنى دراسة ظروف سكون الأجسام، وغالباً ما تتحول أو تتجه هذه الدراسة إلى دراسة الشروط الواجب توافرها في القوى المؤثرة على الجسم لكي تؤدي إلى حالة سكون واتزان .

الاتـــــزان :

يستخدم مصطلحا الاتزان والتوازن في وصف حالة الجسم أو النظام عندما يكون ثابتاً. إلا أن التوصيف الأكثر دقة من الناحية العلمية يفسر الاتزان على انه حالة عدم التسارع (زيادة العجلة) سواء كان هذا التسارع يرتبط بالسرعة ككمية أساسية أو بالاتجاه في التغيير وفي هذه الحالة من الاتزان من الممكن أن تميز حالة الجسم في الحركة بسرعة ثابتة واتجاه ثابت يطلق عليها الاتزان الديناميكي. وفي الأنشطة الحركية للجسم البشرى يمارس الجسم العديد من الحركات المتغيرة من حيث تسارع أجزائه في بعض الأحيان وتناقص سرعاتها في أحيان أخرى، ونتيجة لهذه الحقيقة ظهر استخدام مصطلح التوازن الذي يعبر عن إمكانية التحكم في الحالة الحركية سواء لفترات زمنية قصيرة أو طويلة .

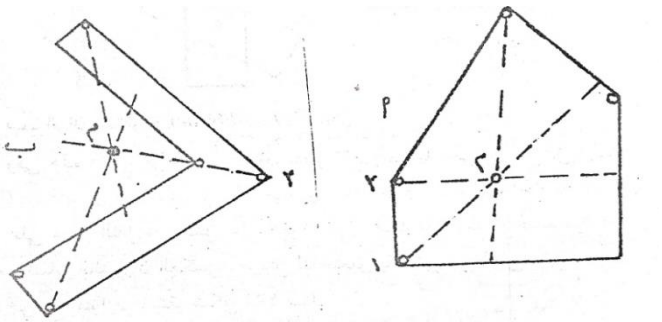
وهناك شرطان مهمان يلعبان دوراً كبيراً في توازن الأجسام هما :

١. محصلة القوى المؤثرة على الجسم تساوي صفراً .
٢. المجموع الجبري للعزوم المؤثرة على الجسم في جميع المحاور يساوي صفراً .

مركز ثقل الجسم :

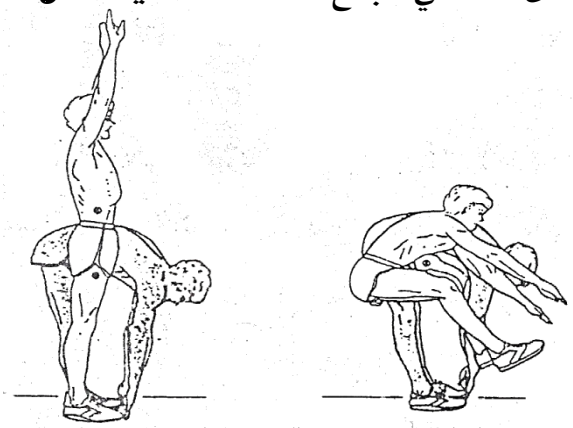
يعتبر مركز ثقل الجسم للإنسان مهم جداً في تقرير مسألة التوازن لذلك الجسم في أية لحظة. ويعني مركز ثقل الجسم هو تلك النقطة التي تمر فيها محصلة قوى جذب الأرض على الجسم مهما كان وضعه. أو هو تلك النقطة التي يكون فيها حاصل جمع القوى وعزومها والمسلطة على نقطة ما في الجسم تساوي صفراً. وببساطة يمكن تحديد مركز ثقل الجسم في كونه تلك النقطة التي يتزن عليها الجسم .

ويمكن تحديد مركز ثقل أي جسم متماسك بطريقة تجريبية مبسطة عن طريق تغيير طريقة تعليقه مع ثبات اتجاه الخيط في كل حالة، واعتبار خط التأثير الخاص بقوة الارتكاز متقاطعاً في نقطة هي مركز ثقل كتلة الجسم. كما يوضحه الشكل التالي .



تحديد مركز الثقل بالتجربة عن طريق تعدد مرات التعليق

ويلاحظ أن بعض أشكال الجسم يمكن أن ينتج عنها وجود مركز ثقل كتلة الجسم خارج الجسم نفسه الشكل أعلاه (ب) وهذه الحالة تنطبق أيضاً على جسم الإنسان عند ثني الجذع كاملاً كما في الشكل التالي .



مركز ثقل الجسم ووقوعه خارج الجسم نفسه

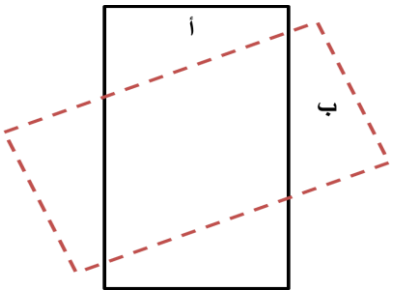
ومن الحقائق المهمة هنا هي أن موقع مركز ثقل الجسم البشري متغير باستمرار وذلك بسبب امتلاكه خاصية تغير وضع وحركة أعضائه باستمرار .

إن هذه الخاصية مهمة جداً في اعتبارات الإنجاز الرياضي للمهارات الحركية المختلفة، فتطوير التكنيك في القفز العالي يوضح كيف أن تغير وضع مركز الثقل في الجسم يزيد عند ارتفاع القفز فوق العارضة بحيث أن القافز يستطيع أن يقذف جسمه فوقها .

إذا كان الجسم المتماسك في وضع قابل للدوران حول محور وتحت تأثير وزنه، فإن هذا الجسم يمكن أن تكون له ثلاثة أوضاع من أوضاع التوازن :

أولاً : اتـــزان متعـــادل :

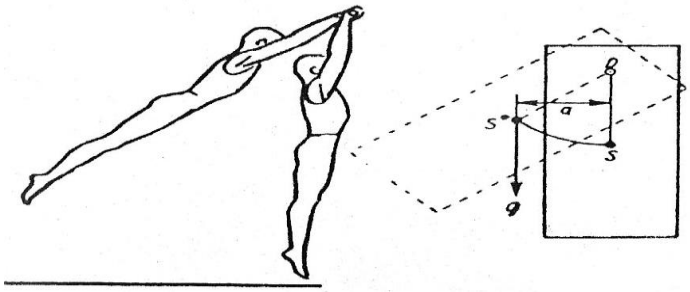
وفيه يمر المحور خلال مركز الثقل الخاص بالجسم، وعند دوران الجسم بزاوية من الزوايا فإنه لا يطرأ أي تغيير على وضع اتزان الجسم الذي يظل بعد دورانه في حالة ثبات جديد .



اتزان متعادل

ثانياً : اتـــزان مستقـــر :

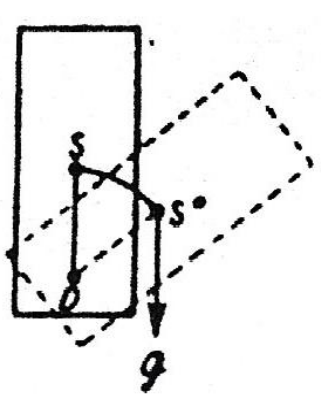
يمر المحور في هذه الحالة خلال نقطة تقع عمودياً على مركز الثقل، وعند دوران الجسم بزاوية معينة فإنه ينشأ عزم قوة بسبب الجاذبية الأرضية التي تؤثر على مركز الثقل، ويعمل عزم القوة على إعادة الجسم مرة أخرى إلى وضعه السابق بالدوران العكسي، ويمثل لنا التعلق بالقبض من أعلى العقلة الوضع المتوازن المستقر .

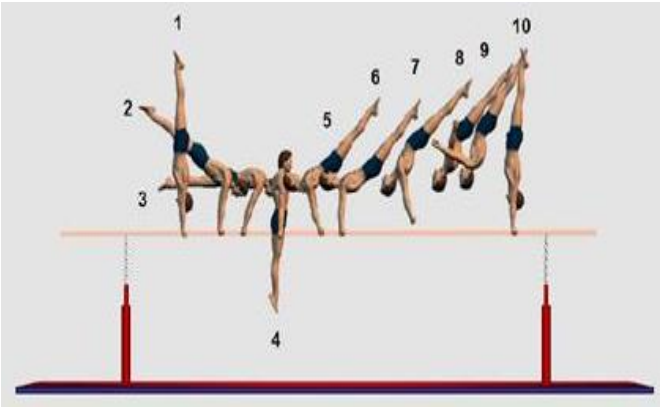


اتزان مستقر

ثالثاً : اتـــزان غـــير مستقـــر :

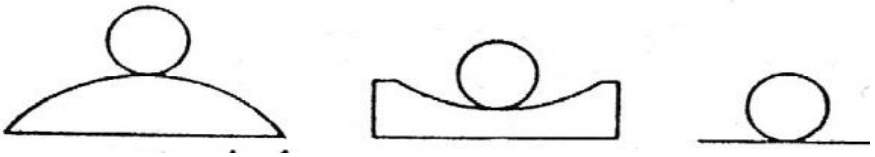
يكـون المحـور في هـذه الحالـة في وضـع عمـودي أسـفل مركـز الثقـل، ويعتـبر ذلـك مـن أوضـاع الاتـزان غـير المؤكـد لأنـه عنـد حـدوث دوران الجسـم يزيـد عـزم وزنـه مـن الـدوران إلى أن يصـل لوضـع الاتـزان المسـتقر، عنـد الوقـوف علـى اليـدين في جهـاز المتـوازي. كمـا يعتـبر الارتكـاز باليـدين علـى جهـاز المتـوازي بمثابـة اتـزان غـير مسـتقر، وذلـك لأن مركـز الثقـل يقـع في هـذه الحالـة في مسـتوى فـوق نقطـة ارتكـاز (نقطـة الـدوران) الخاصـة بالـذراعين، غـير أن الجسـم يكون في وضع اتزان مستقر بالمقارنة بوضع تعلقه بالنسبة لمفصلي الكتفين .





اتزان غير مستقر

ونشاهد الأوضاع الثلاث للاتزان بالنسبة للجلة (الثقل) بشكل تختلف فيه أوضاع ثباتها، ونوعية السطح الذي ترتكز عليه والفارق بين هذه الحالة وبين كل ما سبق لنا ملاحظته يتمثل في الحالات الثلاثة التالية من حيث وقوع مركز الثقل في مستوى فوق نقطة الارتكاز .



اتزان متعادل　　اتزان مستقر　　اتزان غير مستقر

الأنواع الثلاثة للاتزان في حالة ارتكاز الجلة

الاتزان الخطي والاتزان الدوراني

يتحرك الجسم في مسارات خطية أو دوراني وهو قادر على أن يحقق الاتزان في كلا شكلي الحركة، ولكي يحدث الاتزان في الحركة الخطية يجب أن يكون مجموع الاتجاه للقوى المؤثرة في الجسم مساوياً للصفر، كما انه لكي يحدث الاتزان في الحركة الدورانية يجب أن يكون مجموع الاتجاه للعزوم المؤثرة فيه مساوياً للصفر .

ومن الأمثلة التي تفسر ذلك في حالة ثبات الجسم انه عند الجلوس على مقعد فإن وزن الجسم يؤثر إلى ألأسفل وتعادله قوة رد فعل المقعد إلى أعلى، ولا يتأثر الجسم في هذا الوضع بأي قوة أخرى تفقده حالة الاتزان الثابت .

ومن أمثلة الاتزان الخطى حالة راقصة الباليه عندما يلف حول المحور الطولي للجسم عدداً من اللفات وهنا لا يتحرك مركز ثقله خطياً، ولكن قوى الاحتكاك تلعب دوراً في ظهور عزم دوران مضاد لعملية اللف، فتكون حالة اللاعب غير متزنة من حيث الحركة الدورانية في الوقت الذي تكون فيه متزنة خطياً .

وهنا يلاحظ أن هذه التغيرات في خصائص حالة الحركة الدورانية تنتج في النهاية حركة خطية للجسم ككل .

الثبات الخطي والثبات الدوراني

على الرغم من أن حالة الاتزان الفعلي هي حالة لا يمكن وجودها في حركات جسم الإنسان بصفة عامة إلا أنها دائما تمثل هدف اللاعب في محاولته تحقيق التوازن الثابت للحفاظ قبل الشروع في التحرك .

والطريق لتحقيق ذلك قد يكون باختيار الأوضاع التي يسهل إخلال الاتزان فيها، كما هو الحال في أوضاع البداية في اللعاب القوى والسباحة، حيث أن سقوط الجسم للأمام مع الدفع بالقدمين سوف يؤدى إلى تسارعه في اتجاه الحركة . والثبات يفسر حالة الجسم في مقاومته لاختلال الاتزان سواء كان ديناميكياً أو استاتيكياً أو انه مقاومة للتغير في حالة الحركة .

• الثبات الخطي :

في الحالة التي يتحرك فيها الجسم في خط مستقيم كالانزلاق على أي سطح وقد يكون هذا السطح أفقياً أو عمودياً أو مائلاً أو قد يكون من الخشب أو الثلج أو الثرتان أو الماء أو أي نوع من الأسطح المعروفة في المجال الرياضي كما قد يكون الجسم في حالة اتصال كامل أو جزئي كما هو الحال في استخدام أنواع مختلفة من الأحذية أو الأدوات أو الأجهزة (أحذية اللعاب القوى بأنواعها - العجلات - القوارب بأنواعها - أحذية الانزلاق - أحذية كرة القدم - التنس والسكواش . الخ) وأين كانت هذه الظروف منفردة أو مجتمعة فلكي يتحرك الجسم خطياً يجب أن يكون هناك حد أدنى وحد أقصى من الثبات الخطي ويجب أن يكون متوفراً ويعتمد على الهدف من الحركة .

والمبدأ العام الذي يحكم الثبات الخطي ينص على انه كلما زادت القوى الدافعية الخطية (الدفع الخطي) (القوى في زمن تأثيرها) المطلوبة

لإخلال الاتزان الخطي للجسم (من السكون أو الحركة) كلما زاد ثباته . أي بمعنى أنه كلما زادت الخاصية القصرية للجسم (كتلته) كلما زاد ثباته الخطي، ويتطلب ذلك دفعاً أكبر لتغيير حالته، وبالإضافة إلى ذلك فإن الثبات الخطي يمكن أن نعتبره حالة الانزلاق التي تعتمد على قوى الاحتكاك الناشئة بين سطح الجسم والسطح الخارجي .

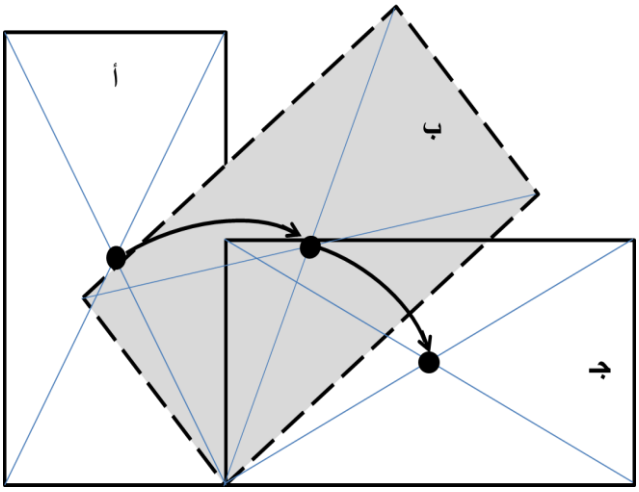
المهم أن نفهم أن الثبات الخطي هو عبارة عن الميل للانزلاق بين الجسم عن طريق الجزء الذي يتصل به بجسم أخر أو بسطح أخر، وان الهدف من الأداء هو الذي يحدد الرغبة أو عدمها في تقنين هذا الميل للانزلاق واستخدام الحد المناسب لنوع الأداء .

• الثبات الدوراني :

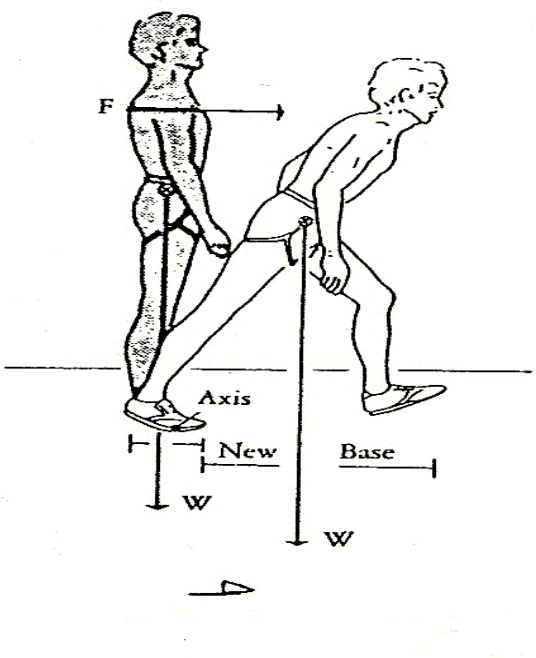
يعنى الثبات الدوراني قدرة الجسم على مقاومة فقدان أو اختلال اتزانه عن طريق تدويره حول نقطة ثابتة بفعل عزماً ما وكلما زاد الثبات الدوراني للجسم كلما تطلب ذلك قدراً أكبر من عزم التدوير الذي يغير من حالته أو من اتزانه الدوراني .

فإذا حاولنا دفع صندوق وهو موضوع على احد جانبيه فسوف يدور حتى يستقر على جانبه المقابل ويتم الدوران حول المحور المار بحافته المتصلة بسطح الأرض والتي تربط بين السطحين، وهذا الدفع سوف يساعد على وصول الصندوق إلى الوضع الذي تبدأ فيه الجاذبية الأرضية في التأثير عليه بعزم جديد ويستكمل دورانه بعيداً عن الوضع الذي كان متوازناً فيه، أما إذا كان مقدار الدفع المستخدم غير كاف للوصول بالصندوق إلى الارتكاز على حافته فسوف تعمل الجاذبية الأرضية على دورانه أيضاً ولكن في هذه الحالة سوف يكون الدوران في اتجاه إعادة الصندوق إلى وضعه الأصلي .

أما إذا دفع الصندوق حتى يتركز على إحدى حافتيه فسوف تكون محصلة العزمين المؤثرين في الصندوق (عزم الجاذبية وعزم القوى الخارجية) متساوية في المقدار ومتضادة في الاتجاه وبذلك سوف يثبت الصندوق في هذا الوضع، وبمجرد أن يقع خط الجاذبية بعيداً عن نقطة اتصال الصندوق بالأرض سواء للأمام أو للخلف فسوف يدور الصندوق تحت تأثير ما ينشأ من عزم وفي اتجاهه .



أما إذا لم يكن هناك عزم مضاد كما هو الحال عند دفع شخص من الخلف وهو في وضع الوقف فسوف يدور جسمه حول محور يصنعه القدم مع سطح الأرض أماما أسفل لدا فإنه يلاحظ أن هذا الشخص سوف يقوم بأخذ خطوة للأمام بمجرد فقدانه للتوازن وسوف تساعده هذه الخطوة في إيقاف تأثير عزم الجاذبية الأرضية على مركز ثقله وبالتالي منع سقوطه .



التوازن أثناء الحركة

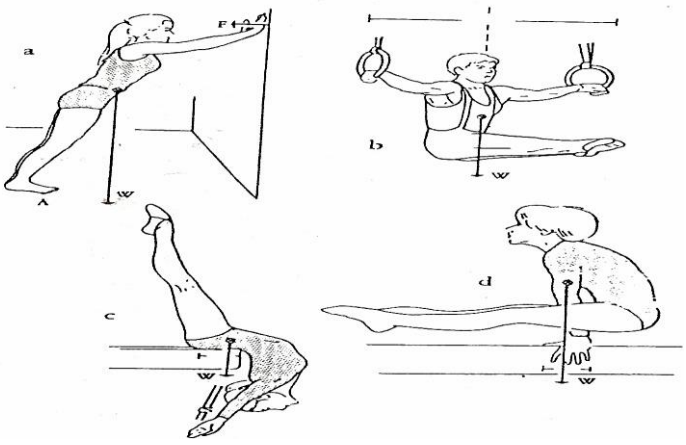
الاتزان الثابت وغير الثابت والمتعادل

في حالة الاتزان الدوراني لأي جسم يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أشكال هي الاتزان الثابت وغير الثابت والمتعادل أو المستقر وتلعب الخصائص الفيزيقية وطبيعة قاعدة الارتكاز الدور الرئيسي في تحديد حالة الجسم من حيث الاحتفاظ بالتوازن أو فقده .

فالجسم الذي يكون في حالة اتزان مستقر يحتاج إلى مقدار كبير من الدفع إلزاوي لإخلال اتزانه أو تغيير حالته كما هو الحال في الجسم المتزن اتزانا غير مستقر ونظرا إلى عدم وجود ميل للسقوط بالنسبة للكرة في حركتها على مستوى أفقي بطريقة أو بأخرى فإن مركز ثقلها يمكن أن يطلق عليه حالة الاتزان المتعادل أو المستقر، حيث إنه يستمر دائما عموديا على قاعدة ارتكاز الكرة مهما تحركت على هذا السطح، أما عندما يميل السطح فإن الكرة سوف تسقط في اتجاه الميل لأسفل لأن خط الجاذبية سوف يمر أمام قاعدة ارتكازها على السطح فتتأثر بعزم دوران تغير من حالة اتزانها .

ويمكن التعبير عن هذه الحالات الثلاث في أوضاع كثيرة يتخذها الجسم في أدائه للأنشطة البدنية المختلفة، فدرجة الاتزان الدوراني للجسم لها خاصية الاتجاه كما أنها تتأثر بأي عزوم خارجية.

وخاصية الاتجاه، تعنى أن الجسم من الممكن أن يكون في حالة الاتزان دوراني بالنسبة لاتجاه محدد، أو انه مقاوم للدوران في اتجاه معين، وليس بالضرورة أن تكون مقاومته للدوران في الاتجاه الأخر.



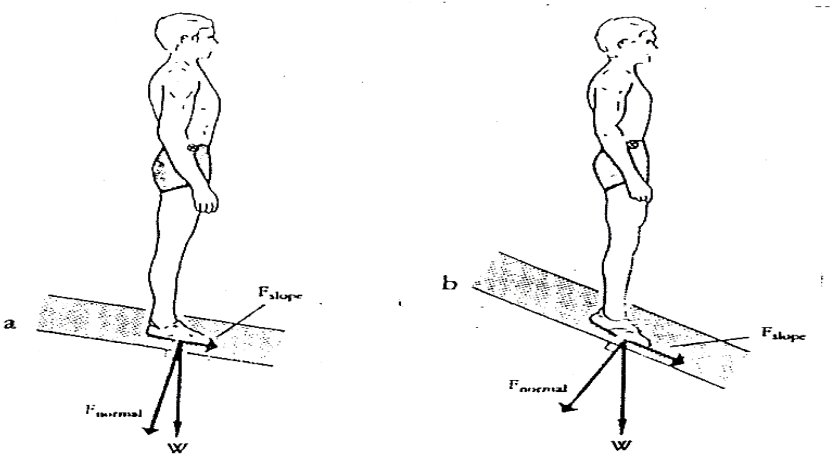
تحليل أداء التوازن

يساعد الإلمام بالعوامل الميكانيكية والعلاقات التي تربطها في دراسة التوازن وخاصة في الأداء التي يدخل فيها الاحتفاظ بالتوازن كشرط أساسي لنجاحها وهذه العوامل تتمثل في :

١- وزن الجسم وكتلته .
٢- نصف قطر قصور دوران الجسم حول النقطة أو المحور الذي سوف يدور حوله أو يسقط .
٣- ارتفاع مركز ثقل الجسم .
٤- المسافة الأفقية لخط مركز الثقل بالنسبة للمحور الذي سوف يدور حوله الجسم (مساحة قاعدة الارتكاز) .
٥- قوى الاحتكاك .
٦- الدفع الزاوي الذي يعمل على إخلال حالة الاتزان الدوراني .
٧- كمية الحركة الزاوية للجسم ككل ولأجزائه .

الاحتفاظ بالتوازن في الأوضاع الثابتة

بالنظر لوضع الوقوف العادي ، فسوف تلاحظ أن هناك عمليات مستمرة يقوم بها الجهاز العصبي العضلي لإبقاء مركز ثقل الجسم داخل حدود قاعدة الارتكاز وكلما قلت مساحة القاعدة كالوقوف على الأمشاط أو على رجل واحدة زادت هذه العمليات الحيوية بهدف الاحتفاظ بالتوازن .



❀ ماهية الروافع :

الروافع هي القضبان الصلبة أو الآلة البسيطة والتي تدور حول نقطة ثابتة لغرض استخدام قوة معينة للتغلب على مقاومة. فهي تستخدم لغرض نقل تأثير قوة ما والتي تنتج عنها فقدان جزء من هذه القوة أو زيادتها لغرض التغلب أو مواجهة المقاومة. وعندما لم تكن هناك حركة فهذا يعني أن تأثير دوران الجهد يساوي تأثير دوران المقاومة وبدوره يؤدي إلى التوازن. وما إن أخضعت الحركة إلى الأسس الميكانيكية لمحاولة استغلال قوى الإنسان والقوى الخارجية للاستغلال الأمثل للتغلب على مقاومات كبيرة بقوى قليلة نسبياً، حتى تمكن من تحقيق مبدأ الاقتصاد بالجهد وكذلك الهدف من استخدام القوة .

وتتكون الرافعة من سلسلة عمل تحتوي على ثلاث نقاط هي :

١- نقطة الارتكاز (محور الارتكاز أو الدوران) : هو المفصل الذي يتمفصل عليه العظمتان القريبان من بعضهما بعض .
٢- نقطة تأثير القوة : هي مدغم العضلة وليس منشؤها .
٣- نقطة تأثير المقاومة : تعتمد على طبيعة تلك المقاومة ، فقد تمثل جزءا من الجسم أو ثقلاً معيناً أو الجذب الأرضي أو الوزن .....الخ .

❀ تعريف الروافع :

هي أجسام تعتمد على محور في توازنها أو مقاومتها أو سرعة أدائها وتصنف إلى الحركات الدائرية لان لها أنصاف أقطار وهي من مصطلحات علم السكون .

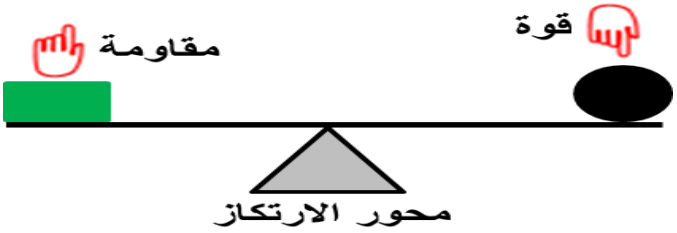
❀ نقاط الروافع :

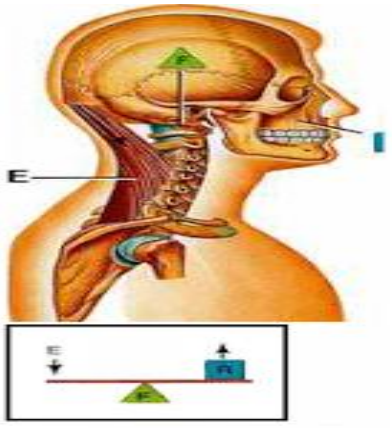
للروافع ثلاثة نقاط الأولى نقطة المحور أو المرتكز أو الارتكاز والثانية نقطة القوة والثالثة نقطة المقاومة ، والبعد بين المركز والقوة يسمى ذراع القوة والبعد بين المركز والمقاومة يسمى ذراع المقاومة .

❀ أنـواع الروافــع :

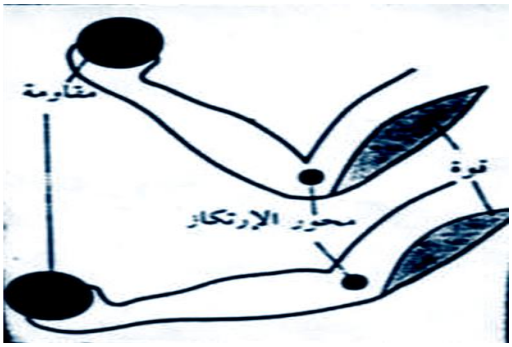
صـنفت الروافـع إلى ثلاثـة أنـواع وفقـاً للمكاسـب المتحققـة منهـا وهـي على النحو التالي :

١- روافع النـوع الأول : وهـي الروافع الـتي تقـع نقطـة ارتكازهـا بـين القـوة المؤثرة وبـين المقاومـة . ومـن الأمثلـة علـى هـذا النـوع :المقـص والعتلـة والأرجوحـة والروافـع هـي : سـاق متينـة تتحـرك حـول نقطـة ثابتـة تسـمى نقطـة ارتكـاز وتؤثر عليها قوة ومقاومة .

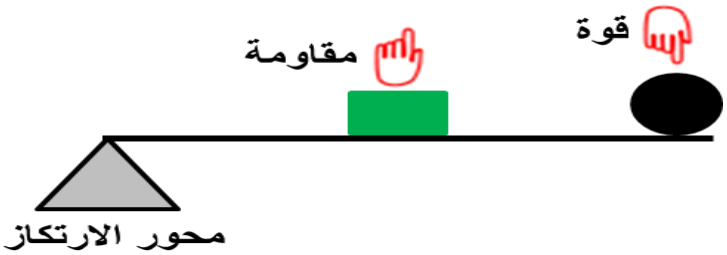


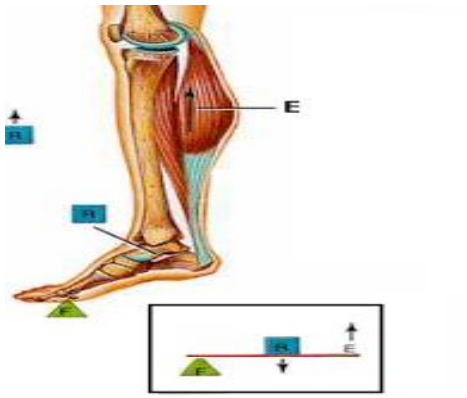


الميزة الميكانيكية لهذا الصنف هي الحصول على حالة الاتزان فيما إذا وقعت نقطة الارتكاز بين نقطتي تأثير المقاومة والقوة، وقد يطول ذراع المقامة أو يقصر على محور الارتكاز فإذا ما طال ذراع القوة فان الميزة الميكانيكية التي يمكن الحصول عليها هي الاقتصاد بالجهد، أما إذا طال ذراع المقاومة فنحصل على السرعة الحركية وسرعة تغيير الاتجاه والمدى الحركي، ونجد أن عمل العضلة ذات الثلاث رؤوس العضدية والعظام التي تعمل عليها هي خير مثال على ذلك في جسم الإنسان كما هو موضح في الشكل أدناه .



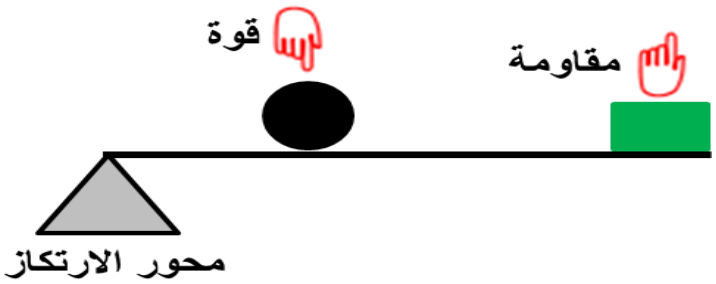
٢- روافع النوع الثاني : وهي الروافع التي تقع نقطة مقاومتها بين نقطة الارتكاز والقوة المؤثرة . مثل كسارة الجوز .

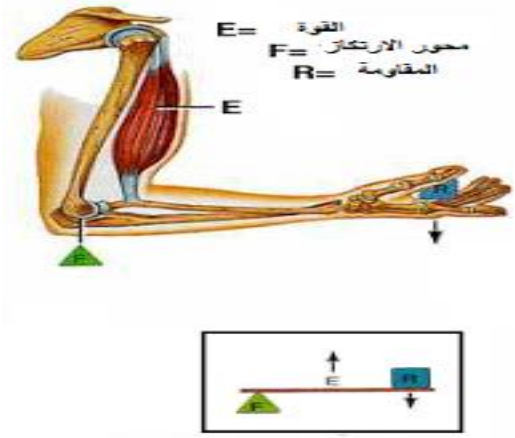




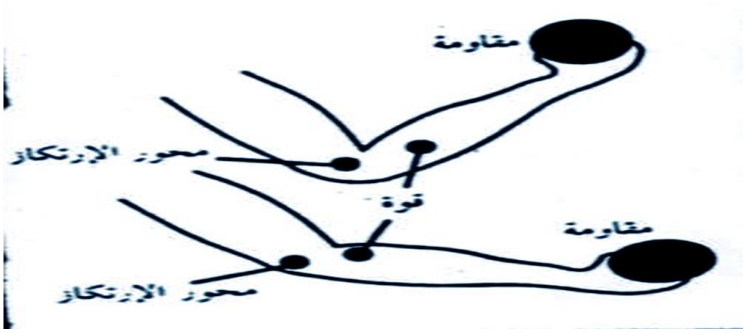
وهنا يكون ذراع القوة الأطول والميزة الميكانيكية يجب أن يكون توليد القوة اللازمة للتغلب على مقاومة كبير. ومثال ذلك الوقوف على المشطين والدفع بالمشطين رافعة من النوع الثاني في جسم الإنسان التي تقع فيها نقطة المقاومة بين نقطة تأثير القوة والارتكاز ويمكن توضيحها أثناء عمل العضلة التوأمية من خلال عملية الدفع بالمشط للأعلى كما في الشكل أعلاه .

٣- روافع النوع الثالث : وهي الروافع التي تقع قوتها المؤثرة بين نقطة الارتكاز والمقاومة . ومن الأمثلة على هذا النوع : الدباسة والمكنسة اليدوية .





وهنا يكون ذراع المقاومة هو الأطول فان الميزة الميكانيكا تكون لتوليد السرعة على حساب القوة . مثل عمل العضلة ذات الرأسين العضدية أثناء انقباضها عند حمل ثقل في اليد ورفعه إلى أعلى، ففي هذه الحالة نقطة إدغام العضلة بالحدبة الكعبري لعظم الكعبرة، تمثل نقطة تأثير القوة حيث تقع هذه النقطة بين نقطة الارتكاز (المرفق) والمقاومة كما هو موضحة في الشكل التالي :



وتتزن الرافعة عندما يكون حاصل ضرب القوة في ذراعها مساوياً لحاصل ضرب المقاومة في ذراعها وهذا ينطبق على أنواع الروافع الثلاثة .

القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها

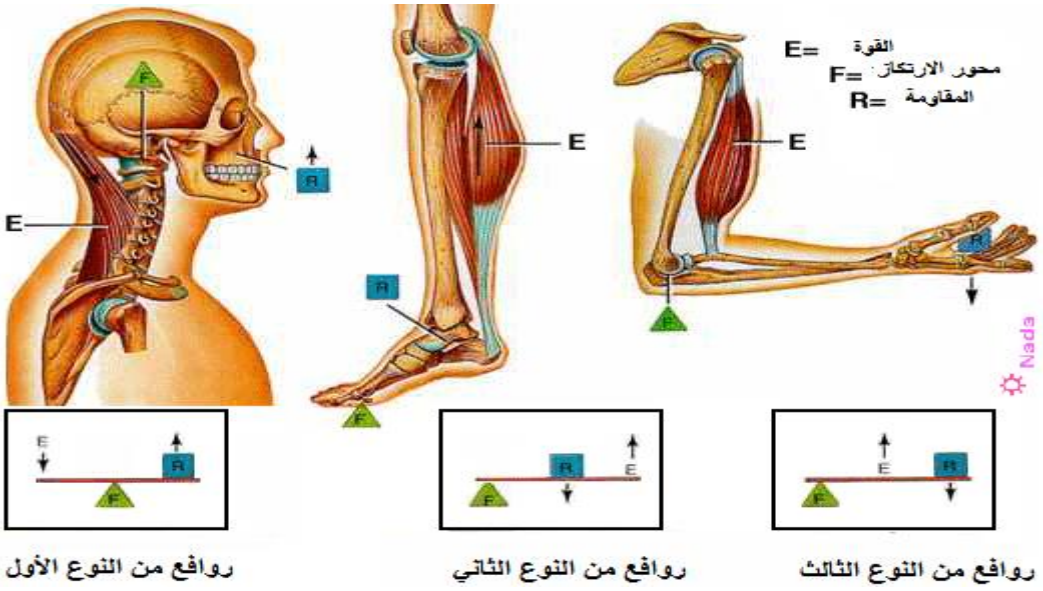
والعظام في الجسم البشري تمثل القضبان والمثبتة لجسم الإنسان والتي يمكنها الدوران حول محاور المفاصل. وتمثل المفاصل المرتكز أو محور الدوران أما العضلات فتمثل مصدر القوة حيث تعمل من خلال نقطة إدغامها في العظم .

فعند رفع الذراع للجانب على سبيل المثال فإن تلك الحركة تمثل عمل الرافعة البسيطة (رافعة من النوع الثالث). إن مفصل الحركة في مفصل الكتف يمثل المرتكز أو المحور والعضلة الدالية تمثل القوة عند تقلصها أما المقاومة فهي وزن الذراع نفسه والذي يعادل قوة جذب الأرض .

وفي الجسم البشري أمثلة متعددة لأنواع الروافع :

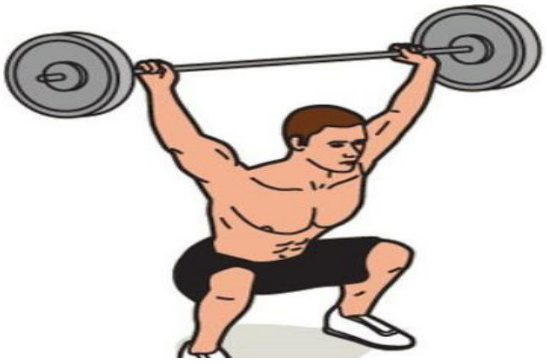
- **النوع الأول** : نجده في الرقبة وحركة مد الذراع للأسفل من مفصل المرفق بواسطة العضلة ذات الرؤوس الثلاثة. إن مفصل المرفق هو نقطة المرتكز والمقاومة هي وزن الذراع أما القوة فهي نقطة إدغام العضلة ذات الرؤوس الثلاث فوق مفصل المرفق من الخلف .
- **أما النوع الثاني** : من الروافع التشريحية فنجده في حالة عمل العضلة العضدية الكعبري بثني المرفق لوحدها حيث يكون مفصل المرفق هو المحور أو المرتكز وتتمثل نقطة القوى في إدغام وتر العضلة العضدية الكعبري في عظم الكعبرة قرب رسغ اليد. أما نقطة الوزن (المقاومة) فتكون في نقطة الوسط للساعد تقريبا. والوقوف على أصابع أو مقدمة القدمين مثال آخر لهذا النوع من الروافع .

➤ **أما النوع الثالث** : فإن معظم روافع الجسم البشري تدخل في هذا النوع. وأن معظم حركات الذراعين تكون مثل جيد للروافع عندما تشارك معظم العضلات لليد في العمل الحركي. فعلى سبيل المثال عندما تتقلص العضلة ذات الرأسين والعضلة العضدية على مفصل المرفق فإن المحور للحركة يكون مفصل المرفق، ونقطة المقاومة تكون في منتصف الساعد واليد. أما نقطة القوة فتكون في نقطة إدغام العضلة تحت مفصل المرفق بقليل .



روافع من النوع الأول | روافع من النوع الثاني | روافع من النوع الثالث

إن العضلات في هذا النوع من الروافع تستوجب أن تبذل قوة أكبر عند تقلصها للتغلب على مقاومة ما وذلك لأن الروافع من النوع الثالث تتميز بزيادةٍ السرعة ومدى الحركة على حساب القوة فالرباع الذي يريد أن يرفع وزنا مقداره (٦٠) كغم للأعلى عليه أن يبذل قوة عضلية أكبر من ذلك الوزن .

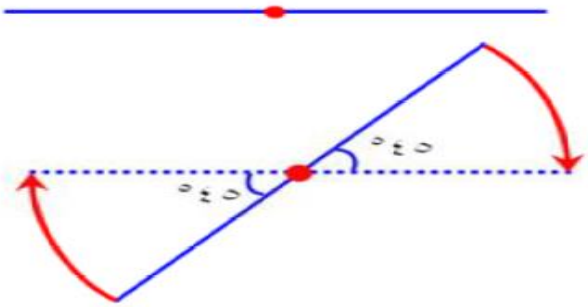


❀ فوائد الروافع :

أن الفائدة من الروافع يمكن ملاحظتها وفقاً لما يأتي :

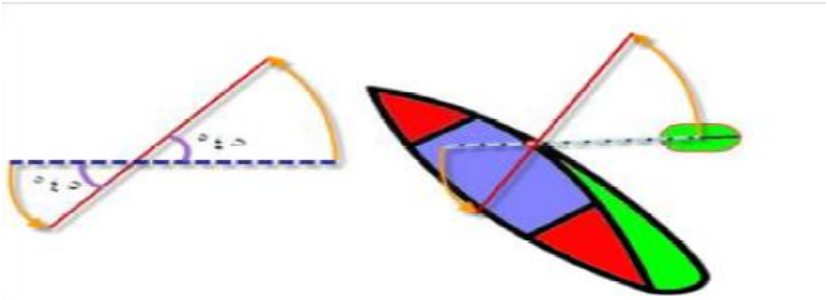
➤ تغيير الاتجاه :

عندما يتحرك طرف من الرافعة من النوع الأول يرافقه حركة مماثلة في الطرف الأخر .



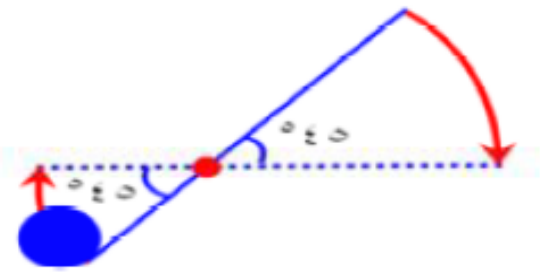
➤ كسب السرعة :

عندما يتحرك طرف من الرافعة من النوع الأول يرافقه حركة مماثلة في الطرف الأخر وفي الزمن نفسه وبشرط تساوي ابتعاد الطرفين عن المركز فان لنهايات الرافعة السرعة نفسها ، أما اذا اختلف ابتعاد طرف عن المركز فان مدى أو قوس الطرف البعيد من المحور أو المركز سيكون اكبر وبذلك سنحصل على الفائدة الأولى وهي الحصول على مدى أوسع للحركة واذا حدث ذلك في زمن معين فان المدى الأكبر سيمتلك سرعة اكبر ، ويلاحظ عدم تغير قيمة الزاوية وتعد هذه ميزة الرافعة من النوع الأول .



كسب القوة :

الفائدة الثانية من الروافع هو كسب القوة أي التغلب على مقاومة معينة بقوة اقل من مقدار المقاومة (الاقتصاد في القوة)، لقد ناقشنا سابقاً أن الاتزان يتم بتساوي ابتعاد نهايات الأطراف عن المركز مع تساوي كتلتها (ذراع القوة يساوي ذراع المقاومة ومقدار القوة يساوي مقدار المقاومة) أما اذا اختلف ذلك فان الرافعة لا تتزن أي أن الجهد الموجود على طرف معين يختلف عن الجهد الموجود على الطرف الأخر ، فاذا كان ذراع القوة اكبر من ذراع المقاومة فان الجهد الموجود على طرف القوة اقل من الجهد الموجود على طرف المقاومة وفقاً لقانون الروافع (القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها) وهذا هو المكسب الثاني ، وبما أن ذراع القوة اكبر من ذراع المقاومة وان المطلوب هو تحريك المقاومة فان المدى الكبير الموجود على طرف القوة اكبر من المدى الموجود على طرف المقاومة مما يعني التحرك بمدى كبير للحصول على مدى قليل أي أن كسب القوة يولد خسارة في السرعة والعكس صحيح .



فلو علمنا على سبيل المثال أن طول ذراع المقاومة يساوي (٢٠) سم وطول ذراع القوة يساوي (١٠) سم وقيمة الثقل أو المقاومة المثبتة في اليد هي (٥) كغم وأردنا معرفة مقدار القوة التي يمكن أن تعطيها العضلة ذات الرأسين العضدية من أجل العمل على موازنة حمل الثقل في اليد، فإننا نقوم باستخدام المعادلة أدناه من أجل معرفة القوة التي نحتاجها كالآتي :

القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها

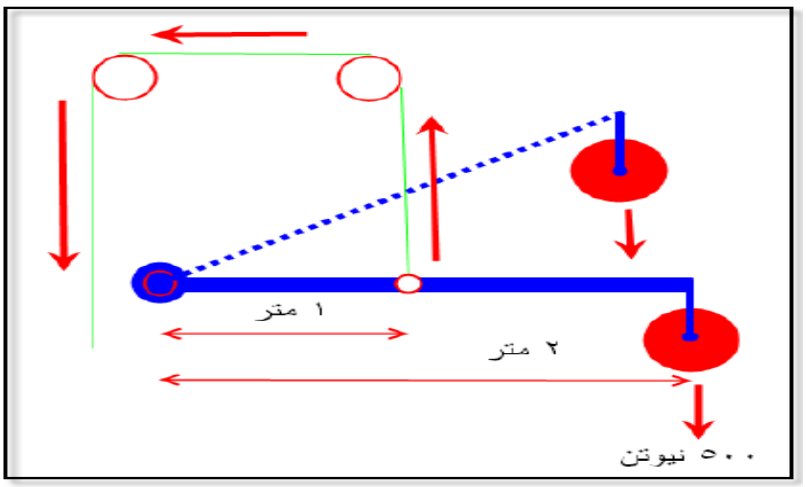
ق × ١٠ = ٥ × ٢٠

$$ق = \frac{٥ \times ٢٠}{١٠} = ١٠ \text{ نيوتن}$$

❀ التدريب بذراع المقاومة :

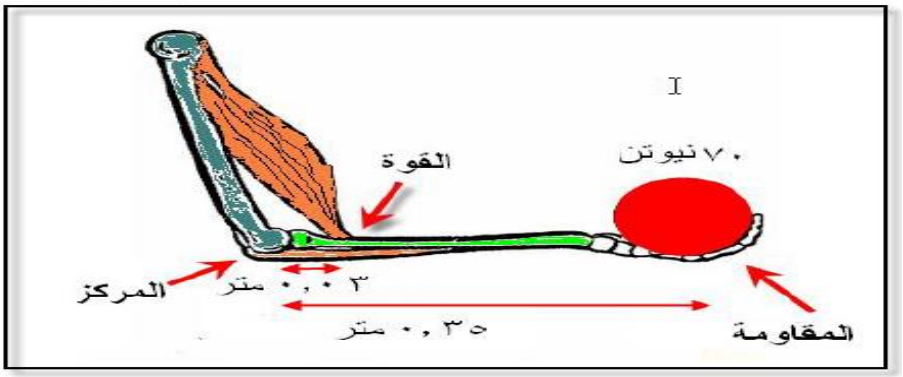
في التدريب فان المقاومة تعد بمثابة الشدة ضمن مكونات الحمل ، فلو افترضنا أن التدريب يتم بشدة مقدارها ٥٠٠ نيوتن فهل من الممكن الاحتفاظ بالمقدار الرقمي للشدة مع تغيير الشدة نفسها ؟ الجواب نعم ففي المثال أدناه يتم تغيير موقع أو نقطة القوة أو تقصير ذراع القوة مما يؤدي إلى تغيير الشدة ووفقاً لقانون (القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها) وان العتلة المطلوبة هو من النوع الثالث أي أن ذراع القوة أصغر من ذراع المقاومة مما يعني أن التغلب على وزن مقداره ٥٠٠ نيوتن يتطلب قوة أكبر ولنحسب ذلك .

- القوة × ١ = ٥٠٠ × ٢
- القوة = ١٠٠٠ نيوتن الشدة الحقيقية وفقاً لذراع المقاومة بذلك يمكن إطالة ذراع القوة أو تقصيره مما يغير من شدة التدريب .



❀ مثال :

أحسب مقدار القوة المطلوبة لثبات عضلة ذات الرأسين العضدية عند مقاومتها لقوة مقدارها ٧٠ نيوتن (اهمل كتلة الذراع) تبتعد بمقدار ٠,٣٥ متر عن مفصل المرفق أذا علمت أن مدغم العضلة تبتعد بمقدار ٠,٠٣ متر عن مفصل المرفق وبزاوية قائمة مع عظم الساعد .



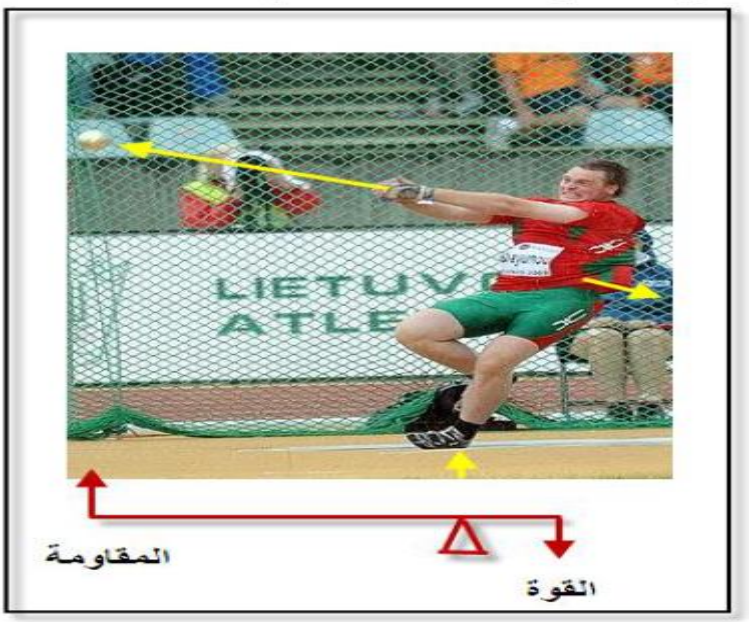
القوة × ذراعها = المقاومة × ذراعها

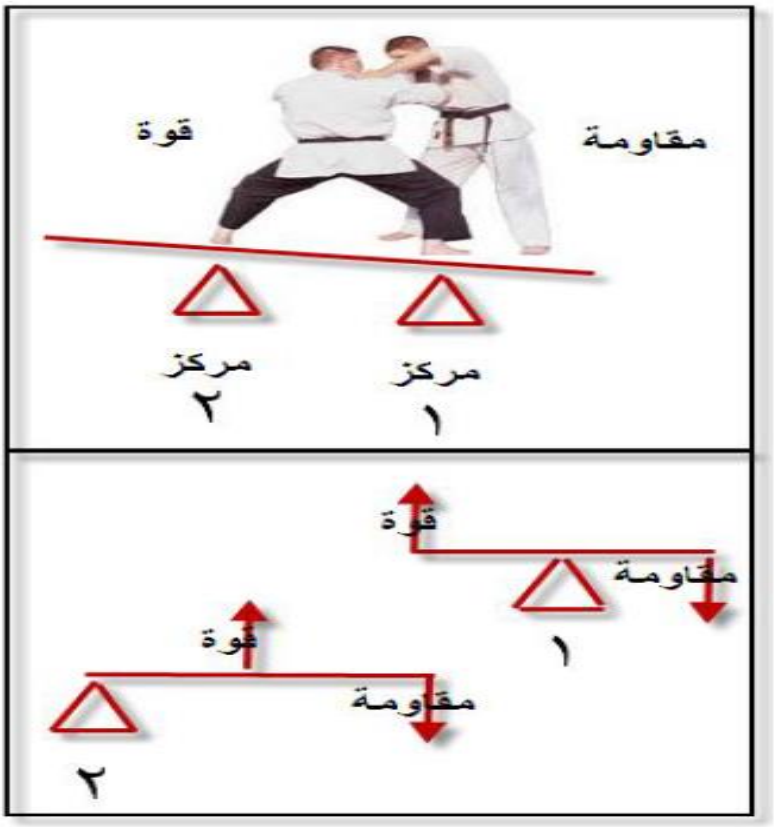
∴ القوة = $\frac{\text{المقاومة} \times \text{ذراعها}}{\text{ذراع القوة}} = \frac{٧٠ \times ٠,٣٥}{٠,٠٣}$ = القوة = ٨١٦,٧ نيوتن

هل صحيح أن الشدة كانت ٧٠ نيوتن ؟

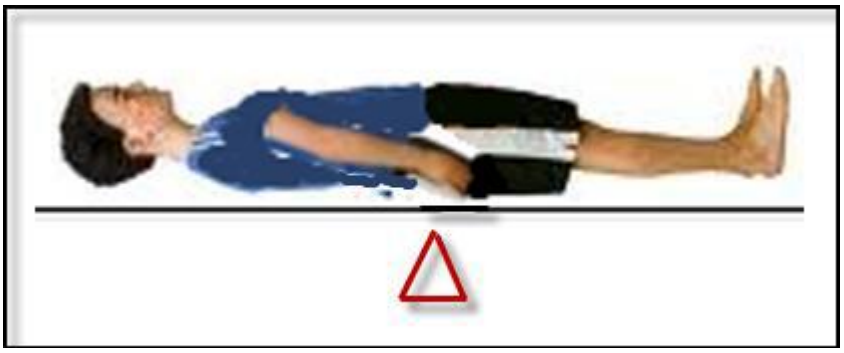
❀ بعض استخدامات الروافع من النوع الأول :

تستخدم الروافع من النوع الأول في وصف الأداء الحركي .





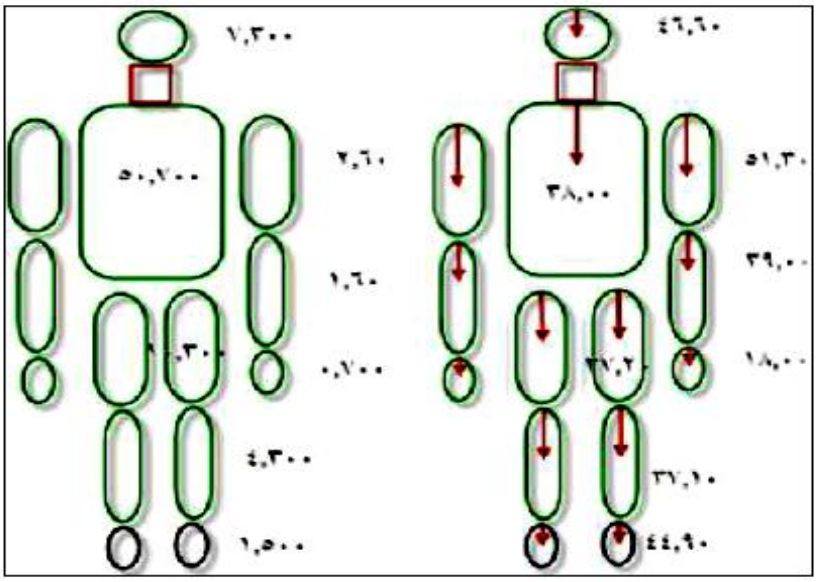
نجد في الصورة أعلاه مركزين للرافعة وتتناوب كل من القوة والمقاومة على المركزين ففي المركز الأول نجد انه يمثل رافعة من النوع الأول أما المركز الثاني فنجد أن الرافعة من النوع الثالث وتحتاج إلى قوة كبيرة للتغلب على المقاومة بسبب قصر ذراع القوة . كما تستخدم الروافع من النوع الأول في إيجاد مركز ثقل الجسم أو أجزاءه .



❀ الأبعاد النسبية لاتزان أجزاء الجسم :

وفقاً للعديد من الدراسات على الجثث توصل العلماء في هذا المجال إلى موقع اتزان كل عظم من عظام جسم الأنسان وكل كتلة مربوطة بمجموعة عظام كالرأس والجذع والكف والقدم وأدناه جدول اتزان هذه العظام .

التسلسل	الجزء	الكتلة النسبية (كغم)	البعد النسبي (سم)
١	الرأس والرقبة	٧,٣٠٠	٤٦,٦٠
٢	الجذع	٥٠,٧٠٠	٣٨,٠٠
٣	عضد أيمن	٢,٦٠٠	٥١,٣٠
٤	عضد أيسر	٢,٦٠٠	٥١,٣٠
٥	ساعد أيمن	١,٦٠٠	٣٩,٠٠
٦	ساعد أيسر	١,٦٠٠	٣٩,٠٠
٧	يد يمنى	٠,٧٠٠	١٨,٠٠
٨	يد يسرى	٠,٧٠٠	١٨,٠٠
٩	فخذ أيمن	١٠,٣٠٠	٣٧,٢٠
١٠	فخذ أيسر	١٠,٣٠٠	٣٧,٢٠
١١	ساق أيمن	٤,٣٠٠	٣٧,١٠
١٢	ساق أيسر	٤,٣٠٠	٣٧,١٠
١٣	قدم يمنى	١,٥٠٠	٤٤,٩٠
١٤	قدم يسرى	١,٥٠٠	٤٤,٩٠



٢ مثال تطبيقية :

جد كتلة فخذ اللاعب الذي كتلته (٧٥ كغم) واذا علمت أن طول فخذه (٤٤ سم) فمن أين تتزن الفخذ بما أن الكتل المعروضة في الجدول أعلا هو مثال لشخص كتلته (١٠٠ كغم) فان النسبة والتناسب يؤدي الغرض المطلوب ووفقاً لما يأتي .

$$\text{كتلة الفخذ} = \frac{٧٥ \times ١٠,٣٠٠}{١٠٠,٠٠} = ٧,٧٢٥ \text{ كيلوغرام}$$

وبما أن الأبعاد النسبية المعروض في الجدول هي مثال للأجزاء طولها ١٠٠ سم فان النسبة والتناسب يؤدي الغرض المطلوب ووفقاً لما يأتي :

$$\text{مسافة اتزان الفخذ} = \frac{٤٤ \times ٣٧,٢٠}{١٠٠} = ١٦,٣٧$$ أي على بعد من المفصل العلوي من اصل طول الفخذ ٤٤ سم

الفصل الرابع

- القوانين الأساسية للحركة.
- الخصائص الميكانيكية لحركة الجسم البشري.
- قوانين الحركة لنيوتن.
- تطبيقات على القانون الأول لنيوتن.
- الكتلة القصرية والكتلة التناقلية.
- تطبيقات لقانون نيوتن الثالث.
- المسافة والإزاحة.
- السرعة والسرعة المتجهة.
- التعجيل.

القوانين الأساسية للحركة

كانت الحركة في الماضي تدرس من قبل العلماء ضمن إطار مختلفة وتفسيرات غير واضحة ولم يبت بها بشكل نهائي ووضع الأسس والقوانين الميكانيكية الأساسية لها إلا عند مجيء العالم الانجليزي " أسحق نيوتن" الذي تمكن من وضع ثلاثة قوانين أساسية للحركة .

الخصائص الميكانيكية لحركة الجسم البشري

باعتبار الجسم البشري نظاماً ميكانيكاً يشترك مع باقي الأجسام الأخرى في العديد من الخصائص الحركية ، فإن استخدامات علم الميكانيكا التقليدية بفروعه المختلفة قد أفادت كثيراً في دراسة حركة الجسم البشري وتحديد العديد من خصائصه ومميزاته الحركية .

ويشير خرمي "R.Skhurmi" من خلال دراسة للسكون والحركة للجسم بأنه الجسم ساكن إذا أحتل نفس الموضع بالنسبة لما يحيط به ، ويوضح ذلك بأنه عندما تكون محصلة القوى المؤثرة على الجسم تساوي صفر ، يحتفظ الحسم باتزانه وسكونه ، بينما إذا كان مجموعة القوى مقدار محصلة " يمكن استخراجها " فإن الجسم لا يستمر في اتزانه بل يبدأ في التحرك في إتجاة محصلة القوى .

ومن خلال ذلك نجد أن جميع الحركات التي يقوم بها الإنسان سواء أثناء التدريبات الرياضية أو الحياة اليومية تخضع إلى القوانين العامة للأجسام والذي ينص على أن كتله الجسم لا تتحرك بعد سكون أو تغير من حركتها إلا إذا وقعت تحت تأثير قوة ما ، وهنا يشير " هوخموث " إلى أن القوة المؤثرة مع الحركة الرياضية تنتج من خلال التبادل الذي يتم بين القوة العضلية للرياضي وبين القوة الخارجية للعالم المحيط به .

قوانين الحركة لنيوتن

إن حقيقة الأجسام وارتباطها بالقوة من الحقائق التي لاحظها إسحاق نيوتن في القرن السابع عشر وبناءً على ملاحظاته وضع نيوتن ثلاثة قوانين أساسية للحركة حيت تفسر هذه القوانين لماذا يتحرك الجسم على هذا النحو وعلى الرغم من أن هذه القوانين يصعب إثباتها حتى في أدق التجارب العلمية إلا أنها أصبحت قوانين أساسية للحركة مازال الجميع يعتمد عليها ويقرها .

القانون الأول : قانون القصور الذاتي The Law of Inertia

يرمي هذا القانون إلى انه من طبيعة الأجسام إذا تركت في مكان معين وهي ثابتة فسوف تستمر في ثباتها إلى ما لانهاية ما لم تؤثر فيها قوة أخرى لتحريكها أو العكس إذا كان الجسم متحركاً فأنه يميل إلى الاستمرار في حركته إذا لم تحاول قوة أخرى إيقاف حركته أو التقليل منها أو زيادتها .

وينص القانون على :

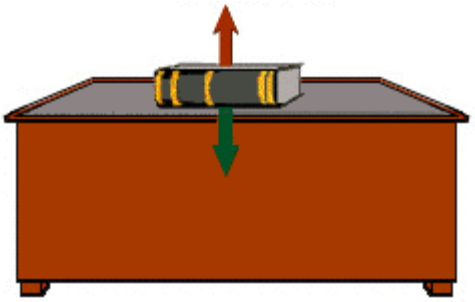
كل جسم يبقى على حاله من حيث السكون او الحركة المنتظمة ما لم تؤثر علية قوه خاجية تغير من حالته

وهذا يعني أن الجسم الساكن سوف يظل ساكناً ما لم تؤثر عليه قوة تحرِّكه. ويُطلق على قانون نيوتن الأول مبدأ القصور الذاتي. والقصور الذاتي خاصية المادة التي تعبر عن استمرارية الحركة إذا كان الجسم متحركاً، أو استمرارية السكون، إن كان ساكناً. والقوى التي تُغيِّر حركة الجسم يجب عليها أن تتغلب أولاً على القصور الذاتي له. وكلما كانت كتلة الجسم كبيرة، كان من الصعوبة أمكان تحريك الجسم أو تغيير سرعته. ويُفيد القصور الذاتي في قياس صعوبة تحريك الأجسام .

❖ تعريف القصور الذاتي للأجسام :

يعرف القصور الذاتي بأنه : مقاومة الجسم للتغير الطارئ على حالته الحركية. أي يميل الجسم للاحتفاظ بحالته من حيث السكون أو الحركة بسرعة منتظمة في خط مستقيم ما لم تؤثر فيه قوى خارجية .

- **مثال :** إذا وجد في الغرفة كرسي أو منضدة فإنهما سوف يبقون بدون حركة ما لم تتأثراً بشد أو دفع يغير من حالتها كذلك الإنسان المسافر في قطار أو سيارة فإذا توقفت هذه السيارة أو القطار فجأة فان الإنسان يشعر بأنه مستمر في حركته رغم توقف السيارة أو القطار .



تأثير القوى على الجسم الثابت

للاستفادة من هذا القانون وتطبيقه في المجال الرياضي ينبغي علينا معرفة العوامل التي تسهم في التأثير في الحركة فنجد أن مقدار القوة المستخدمة لإكساب جسم سرعة معينة يختلف باختلاف وضع الجسم قبل استخدام القوة فإذا كان الجسم المراد التأثير فيه ثابتا وأردنا إكساب سرعة ٥م / ث يتطلب الأمر قدرا معينا من القوة أما إذا كان الجسم نفسه في حالة حركة ولو بطيئة فلإكسابه السرعة نفسها عندئذ تكون القوة المستخدمة أقل من الحالة الأولى وهذا ما يفسر لنا أهمية الحركات التمهيدية في كثير من الفعاليات الرياضية .

أهم العوامل المؤثرة في القصور الذاتي هي :

أ- كتلة الجسم :

فلتحريك ثقل خاص بالرجال من وضع الثبات يتطلب قدراً كبيراً من القوة قياساً بالقوة المستخدمة فيما لو تم تحريك ثقل صغير للنساء من الثبات .

ب- وضع الجسم :

فنجد أن مقدار القوة المستخدمة لإكساب حسم سرعة معينة يختلف باختلاف وضعه قبل استخدام فإذا كان الجسم المراد تحريكه ثابتاً وأردنا إكساب سرعة معينة فنحتاج إلى قدر من القوة تختلف في حالة حركته إكساب السرعة نفسها ، أي أن القوة تكون أقل من الحالة الثانية ، ومن هنا كانت أهمية الحركة التمهيدية .

ج- طبيعة الأرض أو السطح الذي تتم عليه الحركة :

فللتأثير على جسم بكتلة معينة من وضع الثبات إذا كان السطح أملسٍ ، فإن مقدار القوة للتغلب على القصور الذاتي تكون أكبر عندما يكون السطح خشنا أو غير مستوي .

د- قاعدة الارتكاز واتجاهها :

فعند تحريك كتلة الرياضي وهو على قاعدة ارتكاز كبيرة نحتاج إلى قوة كبيرة وخاصة في فعاليات المصارعة ورفع الأثقال للتقليل من تأثير القوة التي يستخدمها الخصم .

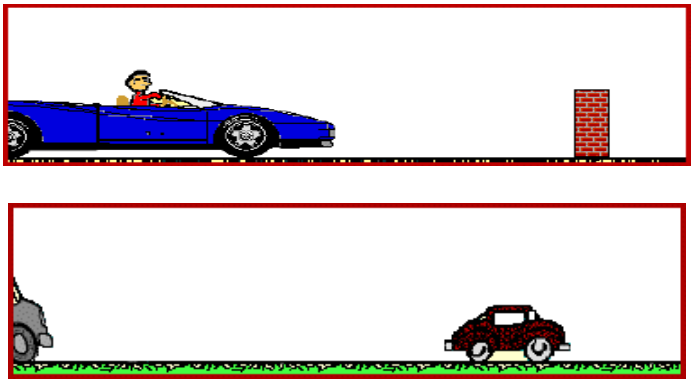
ومن الأمثلة على القصور الذاتي ما يلي :

١- ما يحدث لراكب السيارة عندما تنطلق السيارة فجأة من السكون .

٢- ما يحدث لراكب السيارة عندما تتوقف السيارة فجأة عن الحركة .

٣- ما يحدث لراكب السيارة عندما تنحرف السيارة إلى اليمين .

٤- ما يحدث لراكب الدراجة عندما تصطدم بحجر ثابت في مسيرها .



تأثير القصور الذاتي على الأجسام

يمكننا القول إننا نلاحظ القصور الذاتي عندما يعجز الجسم عن التحول من حالة السكون إلى حالة الحركة ، أو من حالة الحركة إلى حالة السكون ، أو أثناء تغيير اتجاه حركته .

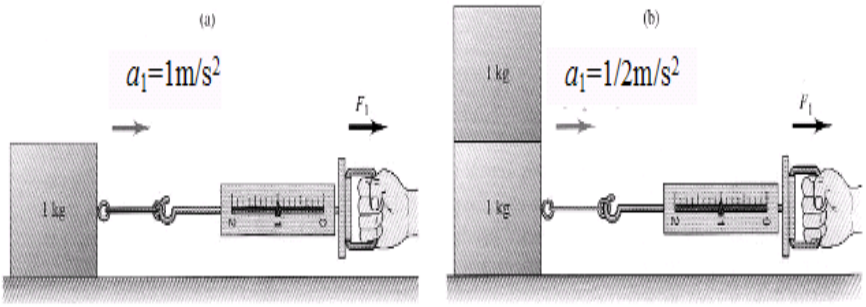
والقصور الذاتي خاصية من خواص كل المواد تجعل الجسم الذي لا يتحرك مستمراً في حال عدم حركته، ما لم تدفعه قوة إلى الحركة. ويجعل القصور الذاتي أيضًا الجسم المتحرك مستمراً في الحركة بسرعة ثابتة وفي الاتجاه ذاته ما لم تتدخل قوة خارجية وتغير حركته. ومثل هذه القوة وحدها هي القادرة على أن تجعل الجسم المتحرك يبطئ من سرعة حركته، أو يُسرع، أو يتوقف، أو يدور. والاحتكاك مع الأجسام الأخرى إحدى القوى التي تُبطئ، عادة، أو تُوقِف الأجسام المتحركة .

وتتوقف القوة المطلوبة لتغيير حركة جسم ما على كتلة ذلك الجسم. ويمكن تعريف الكتلة بأنها كمية المادة الموجودة في جسم ما. وكلما كبرت كتلة الجسم كان تحريكه أو تغيير اتجاهه وسرعته أصعب. فإيقاف قاطرة متحركة، على سبيل المثال، يحتاج إلى جهد أكبر من إيقاف سيارة تسير بالسرعة ذاتها. والسبب في ذلك هو العلاقة بين القصور الذاتي والكتلة. ويعرف علماء الفيزياء الكتلة عادة بأنها قياس للقصور الذاتي عِوضًا عن قياس المادة .

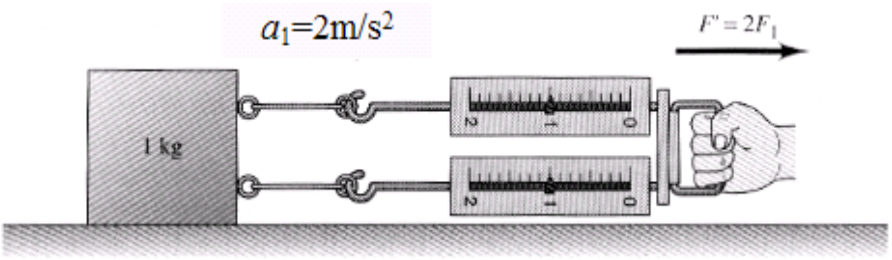
يشرح القانون الأول لنيوتن حالة الأجسام التي تؤثر عليها مجموعة قوى محصلتها تساوي صفراً، حيث يبقى الجسم الساكن ساكناً والجسم المتحرك يبقى متحركاً بسرعة ثابتة. أما قانون نيوتن الثاني فيختص بالأجسام التي تؤثر عليها قوة خارجية تؤدي إلى تحريكها بعجلة (جـ) أو أن تغير من سرعتها إذا كانت الأجسام متحركة. وهنا يجدر الإشارة إلى أن القانون الثاني يحتوي القانون الأول بتطبيق أن العجلة تساوي صفراً .

$$\Sigma \overleftarrow{ق} = ك \overleftarrow{جـ}$$

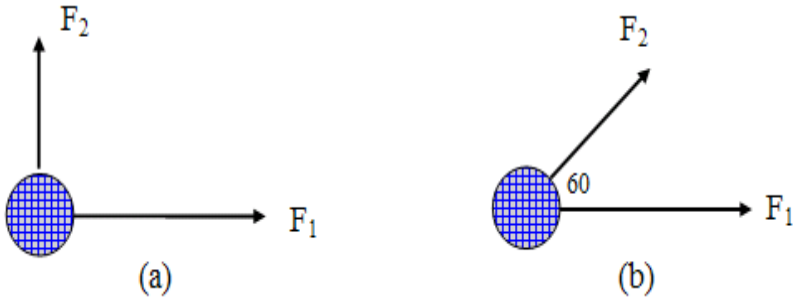
Σ ق = تعني القوه المتجهة .
ك = كتلة الجسم .
جـ = تعجيل الجسم .



إذا زادت الكتلة بمقدار الضعف مع ثبوت قوة الشد فإن العجلة تقل بمقدار النصف.



إذا تضاعفت قوة الشد فإن العجلة تزداد بمقدار الضعف.



القوَّةُ الجاذبة هي القوَّة التي تُجبِرُ جسمًا ما على التَّحَرُّك في مسار دائري. فتبعًا لقانون القصور الذاتي، يتحرك جسم ما في خط مستقيم بسرعة ثابتة. ولكي يتحرك هذا الجسم في مسار منحن، لابد من وجود قوة خارجية تُؤَثِّر عليه. فعندما تربط حجرًا بخيط وتحركه بشكل دائري بقوة يتحتَّم عليك شد الخيط لتمنع الحجر من الانطلاق في خط مستقيم. هذه القوة التي يلقيها الخيط على الجسم هي القوة الجاذبة .

تعمل القوة الجاذبة بطرق أخرى. فالسيارة المسرعة مثلاً تنحوا إلى التحرك بخط مستقيم، ويجب على القوة الجاذبة أن تؤثِّر على السِّيارة لتسمح لها بالسير حول منعطف. وتأتي هذه القوة من احتكاك العجلات بالطريق. وتنخفض هذه القوة الاحتكاكية إذا كان الطريق مبللا، أو مغطى بالجليد. وعندها قد تنزلق السيارة وتحيد عن الطريق لعدم وجود قوة جاذبة كافية تسمح لها بالسَّيْر في مسار منحني .

بإمكانك استخدام الصيغة التالية لحساب القوة الجاذبة (ق) اللازمة لجعل جسم ما يتحرك في مسار دائري:

$$\text{ك ع}^2/\text{نق}$$

اضرب كتلة الجسم، ك بمربع سرعته (السرعة مضروبة في نفسها)، ع^2 واقسم هذا الناتج على نصف قطر الدائرة التي يتحرك عليها الجسم نق. تُعطى القوة الجاذبة في النظام المتري بالنيوتن عندما يعبر عن كتلة الجسم بالكيلوجرامات، والسُّرعة بالأمتار في الثّانية، ونصف القطر بالأمتار القوة الطاردة غالبًا ما تُعرف خطأ على أنها تلك القوة التي تجذب جسمًا ما باتجاه الخارج عندما يتحرك في مسار دائري. ولكن هذا الجسم المتحرك في الواقع ينجذب إلى الداخل. وما لم تجذب هذا الجسم قوة إلى الداخل فإنه سيستمر في الحركة بخط مستقيم وسرعة ثابتة. ويسمي الفيزيائيون القوة التي تجذب جسمًا ما إلى الداخل بالقوة الجاذبة. فإذا ربطت حجرًا بخيط وحرّكته بشكل دائري، فلابدّ أنّك تستخدم قوة جاذبة لتمنع الحجر من التّحرك بخط مستقيم. وبنفس الطريقة تؤثر جاذبية الأرض بقوة جاذبة على الأقمار المتسارعة وتمنعها من الطيران في الفضاء .

تطبيقات على القانون الأول لنيوتن

١- يراعي سائق الشاحنات ربط الأمتعة التي تحملها شاحناتهم جيداً وذلك لتفادي اندفاعها إلى الأمام عند التوقف المفاجئ .

٢- ينصح رجال المرور سائقي السيارات بضرورة ربط أحزمة الأمان في مقاعد السيارات .

٣- يطلب منا ربط أحزمة المقاعد عند إقلاع الطائرة وهبوطها .

القانون الثاني : قانون العجلة The Law of Acceleration

أن كل حركة تحدث لابد أن تكون هناك قوة داخلية أو خارجية وإلا ما حدثت الحركة ، ويكون مقدار الحركة متناسباً مع القوة المؤثرة ، فكلما كانت القوة المستخدمة كبيرة كانت الحركة أكبر ، ومن الطبيعي أن اتجاه حدوث الحركة يتم باتجاه القوة المؤثرة .

وينص القانون على :

يتناسب معدل التغيير في كمية حركة الجسم مع القوة المحدثة له وتحدث الحركة في اتجاه هذه القوة

القانون الثاني ونصه : "يتناسب التسارع المتولد في الجسم مع القوة المحدثة له ويكون في اتجاهها". وهو بذلك يصف كيفية تغيير الجسم لحركته عند تأثير قوة عليه. ويعتمد مقدار تغيير الحركة على مقدار القوة المؤثرة وكتلة الجسم. فإذا زادت الكتلة قلّ مقدار تغيير حركة الجسم والعكس صحيح وذلك عند التأثير بقوة معينة على الجسم. ولذا ففي حالة تأثير القوة نفسها على جسمين فإن تغيير حركة الجسم الأقل وزناً يكون أكثر. وينص قانون نيوتن الثاني أيضًا على أن تأثير قوّة معينة يكون دائماً في اتجاهها؛ فإذا دُفع جسم صوب الغرب مثلاً فإنه يتحرّك في هذا الاتجاه وليس الاتجاه المضاد. ويُكتب قانون نيوتن الثاني على النحو التالي :

ق = ك ت

حيث (ق) هي القوة المؤثرة، و(ك) الكتلة، و (ت) التسارع. ويستخدم العلماء هذه العلاقة لوصف حركة جميع أنواع الأجسام وتبعًا لقانون نيوتن الثاني، تتسبب القوى في إحداث تغييرات في حركة الأجسام. لنفترض أنّ شخصًا أطلق رصاصة من ماسورة بندقيّة في اتجاه أفقي، فحسب قانون نيوتن الأول، فإن الرّصاصة تستمر في الحركة في خط مستقيم للأبد ما لم تؤثّر عليها قوىً، ولكن جاذبية الأرض تؤثرّ على الرصاصة وتسقطها نحو الأرض. يحدث هذا السُّقوط لأن قوة الجاذبية تجذب الرصاصة إلى أسفل، في اتجاه عموديّ على اتجاه الحركة إذا أطلقت الرصاصة أفقيًا من ارتفاع ٤,٩م فوق سطح الأرض، فإن الرصاصة سوف تتسارع بوساطة الجاذبية، وتصطدم بالأرض بعد ثانية واحدة . وهو الزمن الذي يستغرقه جسم ساقط من الارتفاع نفسه سقوطا حُرّا نحو الأرض. وبسبب الجاذبية، حُدِّد للبنادق والمدافع مدى مُعيَّن لإصابة الهدف، كما يجب أن تُطلق الرصاصات في اتجاه أعلى قليلا لزيادة المدى ولتعويض مسافة السقوط .

الحركة فعل أو حدث ينتج عن تغير موضع جسم ما في الفراغ، وهي نسبية وليست مطلقة. ويمكن لجسم ما أن يكون في حالة حركة بالنسبة لجسم آخر، بينما يكون ساكنًا بالنسبة لجسم ثالث. فعلى سبيل المثال، افترض أنك تركب قطارا، وتمرّ بشخص ما يقف بجوار سكة القطار، هذا الشخص سوف يراك، كما يرى جميع من بالقطار، في حالة حركة، بينما يراك الشخص الجالس إلى جوارك بالقطار ساكنًا بالنسبة له .

تتغير كمية حركة جسمٍ ما تغيراً مفاجئا فان هذا التغير يعني قوة معينة تمت في زمن كما أن للكتلة تأثيرا مهما في قيم اللازمة فاللاعب ذو الكتلة الكبيرة يحتاج إلى قوة وكمية حركة أكبر من الأصغر كتلة .

مثال : لاعب يزن ١٢٠ كجم وآخر يزن ٦٠ كجم قطع الاثنان مسافة ١٠٠ متر بزمن ١٢ ثانية فما مقدار القوة المبذولة ؟

الحـــــــــل :- نطبق القانون التالي في المثال

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

$$\text{اللاعب الأول} = ١٢٠ \times \frac{١٠٠}{١٢} = ١٠٠٠ \text{ نيوتن}$$

$$\text{اللاعب الثاني} = ٦٠ \times \frac{١٠٠}{١٢} = ٥٠٠ \text{ نيوتن}$$

- أي أن صاحب الكتلة الأكبر يحتاج إلى قوة أكبر وكمية حركة اكبر من الأخر لقطع المسافة نفسها وفي الزمن نفسه .

الكتلة القصرية والكتلة التناقلية

أولاً: الكتلة القصرية:

هي خاصية في الجسم مرتبطة بقانون نيوتن الأول (قانون القصور) حيث تعبر عن مقدار ممانعة (مقاومة) الجسم لإحداث أي تغير في حالته الحركية الانتقالية، وهي كمية عددية تمثل مقدار ممانعة الجسم للحركة وهي من خصائص الجسم المتحرك أو الذي تتغير حالته الحركية. ويمكن إيجادها بقسمة محصلة القوى المؤثرة في الجسم ، على العجلة (التسارع) التي تحدثها في الجسم .

$$\text{الكتلة القصورية} = \frac{\text{محصلة القوى المؤثرة على الجسم}}{\text{العجلة التي يكتسبها الجسم}}$$

$$\text{ك}_{\text{من}} = \frac{\sum \text{ق}}{\text{جـ}}$$

$$\sum \text{ق} = \text{ك}_{\text{من}} \times \text{جـ}$$

لقد استخدم نيوتن مفهوم الكتلة على أنها مرادف لمقدار ما في الجسم من مادة إلا انه وبدقة اكبر يمكن القول أن الكتلة هي مقياس لقصور الجسم. حيث كلما كانت كتلة الجسم أكبر كلما كان أكثر صعوبة إحداث تغير في حالة حركته بحيث نجد صعوبة في جعله يبدأ بالحركة إذا كان ساكنا كما يصعب أيضا إيقافه عن الحركة إذا بدأها، ويصعب كذلك أزاحته جانبيا إذا كان يتحرك بخط مستقيم. وهي تمثل النسبة بين القوة (ق) إلى التسارع (العجلة) (جـ) التي تحدثها القوة على نفس الجسم. وتتغير هذه النسبة بتغير الأجسام .

طريقة قياس الكتلة القصرية :

نؤثر على جسم ما بقوة معينة ، ونتابع حركته لقياس عجلة الحركة التي يكتسبها نتيجة لتأثير هذه القوة ، ثم نوجد النسبة بين القوة المؤثرة إلى العجلة .

يمكن استخدام قانون نيوتن الثاني لقياس الكتلة، فلو أثرنا بقوى متماثلة على جسمين مختلفين فإن قانون نيوتن الثاني يعطينا النتيجة التالية:

$$\sum ق = ك_{١} \times جـ_{١} = ك_{٢} \times جـ_{٢}$$

أي أن

$$\frac{جـ_{١}}{جـ_{٢}} = \frac{ك_{٢}}{ك_{١}}$$

فإذا كانت ك١ هي وحدة الكتلة العيارية أي ١ كجم، وأمكننا بالتجربة قياس كل من جـ١ و جـ٢ فإننا نستطيع تحديد ك٢ الكتلة القصرية. (كتلة القصور) .

$$ك_{١} \times جـ_{١} = ك_{٢} \times جـ_{٢}$$

ثانياً : الكتلة التناقلية (كتلة الجذب) :

كتلة الجذب (التناقلية) لجسم هي مقياس لمعاناة الأرض عند جذبها للجسم. وهي تعبر عن مقدار ما يحتويه الجسم من مادة ، وهي من خصائص الجسم الساكن .

$$\text{الكتلة التناقلية} = \frac{\text{وزن الجسم}}{\text{شدة مجال الجاذبية الأرضية}}$$

$$ك_ت = \frac{و}{ج}$$

$$و = ك_ت \times ج$$

طريقة قياس الكتلة التناقلية:

يستخدم فيها ميزان ذو كفتين، حيث نضع ١كجم في الكفتين، ثم نضع ما يقابلها في الكفة الثانية وعند اتزان الكفتين نعتبر أن ما في الكفة الثانية له نفس الكتلة كما في الكفة الأولى. أي ١ كجم. وحيث أن كل كفة تتحرك نتيجة قوة الجاذبية الأرضية لذلك تسمى الكتلة المحددة بهذا الأسلوب بـ: الكتلة التناقلية (كتلة الجاذبية)

وإذا كانت التجارب الدقيقة قد دلت على أن ك ص Proportional ك ت أي أن الكتلة القصرية تتناسب طرديا مع الكتلة التناقلية. ك ص = ثابت × ك ت وأنه إذا كانت وحدة قياس الكتلة هي الكيلوجرام، فإن الكتلة التناقلية لجسم ما تكون مساوية لكتلته القصرية حسب ما أثبتت التجارب الحديثة. أي أن: ك ص = ك ت (كيلوجرام) أن الكتلة القصرية تساوي عدديا الكتلة التناقلية وبنفس وحداتها .

القانون الثالث : قانون سرعة رد الفعل The Law of Reaction

يتضح في كثير من الفعاليات التي يقوم بها الإنسان خلال حياته اليومية وفي حركاته الرياضية ما ينص عليه هذا القانون والذي يرمي إلى أن القيام بحركة معينة تتم من خلال قوة يصدرها الرياضي ومن الممكن أن نعبر عن تلك القوة بمصطلح الفعل ونتيجة لهذا الفعل يحصل الرياضي على قوة مضادة ومساوية لمقدار الفعل يمكن أن نطلق عليها رد الفعل .

و ينص القانون على :

> لكل فعل رد فعل مساوي له في المقدار ومضاد له في الاتجاه

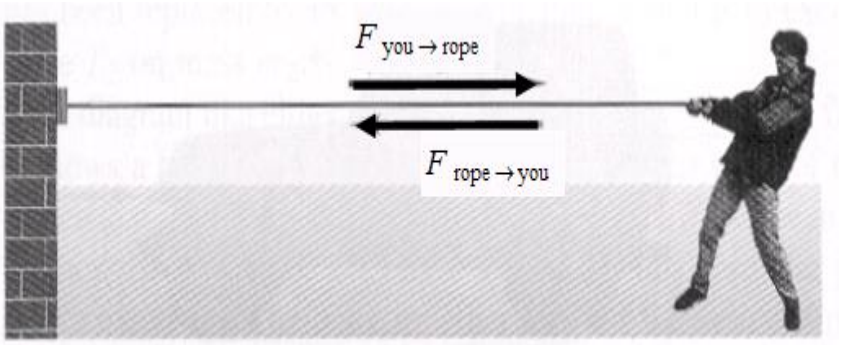
فَعَلى سبيل المثال، عندما تتسرب الغازات من محرك الصاروخ أثناء الإقلاع، فإن الصاروخ يُدفع إلى أعلى. تتسببٍ حركة الغازات المندفعة إلى أسفل في توليد ردٍ فعل يدفع الصاروخ إلى أعلى. ويمكن رد الفعل الصاروخ من التغلب على مقاومة الهواء، والصعود إلى الفضاء. وتوجد أمثلة أخرى كثيرة على قانون نيوتن الثالث. فعند انطلاق رصاصة من بندقيّة، يكون إطلاق الرّصاصة هو الفعل، وارتداد البندقيّة إلى الوراء هو ردّ الفعل، وينشأ كلاهما عن تمدُّد الغاز نتيجة تفجُّر البارود. كذلك دوران مرَشَّات العُشب في اتجاه رذاذ الماء في الاتجاه المضاد .

أحياناً يكون من الصعوبة بمكان التعرف على ردّ الفعل. فعندما تقذف كرة نحو حائط، ثم ترتدّ الكرة، فإننا لا نرى الحائط يتحرك في الاتجاه المضادّ. ولكن هناك حركة صغيرة للمساحة التي ضُربَت من الحائط. وإذا ارتدّت الكرة من الأرض، فإن الكرة الأرضية تتحرّك في الاتجاه الآخر، ولكن لأن كتلة الأرض كبيرة للغاية، فإن هذه الحركة تكون ضئيلة جداً ولا نستطيع أن نميزها .

يختص القانون الثالث لنيوتن على القوة المتبادلة بين الأجسام حيث أنه إذا أثرت بقوة على جسم ما وليكن كتاب ترفعه بيدك فإن الكتاب بالمقابل يؤثر بنفس مقدار القوة على يدك وفي الاتجاه المعاكس .

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

والرمز F12 يعني القوة التي يتأثر بها الجسم الأول نتيجة للجسم الثاني .



يتضح من الشكل مفهوم قانون نيوتن الثالث للفعل ورد الفعل، حيث يشد الشخص الجدار بواسطة الحبل وبالمقابل فإن الحبل يشد الشخص كرد فعل .

إن كل قوة تعمل في أي وقت يجب أن يكون هناك قوة معاكسة لها في الاتجاه الآخر فان القوة الأولى والقوة الثانية تكونا متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه .

مثال : في حركة الوثب فأن القوة التي يسلطها الجسم أثناء وقوفه الاعتيادي على الأرض هي عبارة عن وزنه فنجد أن سطح الأرض يرد بقوة مماثلة بالمقدر وعكس اتجاه خط عمل الجاذبية الأرضية .

مثال آخر : إذا كان الفعل الذي يصدره الرياضي بزاوية معينة مع الأرض فأن رد الفعل يكون باتجاه الفعل نفسه كما في حركة البدء في جري المسافات السريعة كما في الشكل .

قانون الجاذبية الأرضية لنيوتن:

لقد درس نيوتن قانون الجاذبية بعد سقوط التفاحة الشهيرة من الشجرة ، وقد صاغ القانون في جزئيين ، الأول : أن كل الأجسام تنجذب لبعضها البعض عن طريق قوة الجاذبية بتناسب عكسي مع مربع المسافة بين الجسمين. والثاني : يتناسب قوة الجاذبية مع الكتلة لكل من الجسمين محدثة التجاذب بينهما ، ويمكن صياغة القانون بالصورة الآتية :

حيث : ق = قوة الجاذبية ج = الجاذبية الأرضية م = المسافة بين مركزي كتلة الجسمين

ك١ ، ك٢ = كتلة الجسم الأول ، وكتلة الجسم الثاني.

ويعتبر هذا القانون هام جداً ، لأنه يمدنا بوصف القوة التي تعمل بين جسمين .

المثال الأول: مرحلة عبور المانع في ركض الموانع:

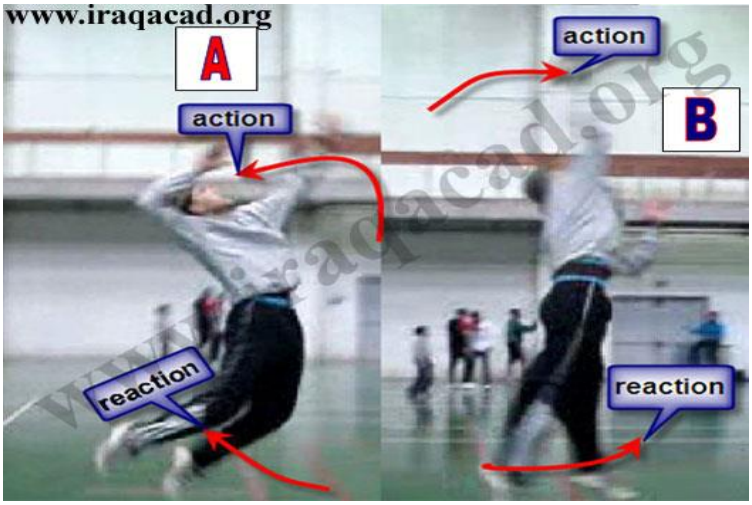
أثناء الجزء الأول من مرحلة عبور المانع تتحرك كلاً من الرجل الحرة (القائدة) والجذع في اتجاه بعضهما البعض وهذا يؤدي إلى تقريب مركز ثقل الجسم باتجاه الأجزاء السفلى للجسم (غلق الزاوية ما بين الجذع والرجل القائدة) ويكون اقرب ما يكون من المانع، ففي اللحظة التي تعبر فيها قدم الرجل الحرة (القائدة) المانع فان الجذع والرجل القائدة يتحركان بصورة عكسية (وكتطبيق لقانون نيوتن الثالث) إذ أن حركة ميلان الجذع للأمام كفعل ينتج عنه حركة الرجل الحرة للأعلى كرد فعل وكما هو واضح من الشكل التالي، أن التطبيق الصحيح لقانون نيوتن الثالث خلال مرحلة عبور العارضة سيضمن للعداء عبور المانع ومركز ثقله اقرب ما يكون من العارضة (اقل زمن ممكن) وكذلك عدم ارتطام رجله القائدة بالعارضة مما قد يسبب ضياعا في القوة .

وخلال الجزء الثاني من مرحلة عبور العارضة فبعد عبور ركبة الرجل الحرة (القائدة) فالفخذ تبدأ هنا مرحلة الاستعداد للهبوط، حيث يقوم راكض الموانع بفتح الزاوية ما بين الرجل القائدة والجذع كما في الشكل التالي حتى يضمن وصول القدم القائدة إلى الأرض بأقصى سرعة ممكنة، إذ أن سرعة وصول القدم القائدة إلى الأرض مرتبط بمحاولة الراكض لرفع الجذع إلى الأعلى وهذا يؤدي إلى زيادة سرعة الرجل القائدة في خفضها إلى الأسفل حسب قانون نيوتن الثالث .

المثال الثاني : الإرسال الساحق بكرة الطائرة:

يؤدي لاعب كرة الطائرة مهارة الإرسال الساحق من القفز، وخلال القسم التحضيري لهذه المرحلة فان الذراعان تتحركان للخلف وباتجاه عكس عقارب الساعة وكنتيجة لهذا الفعل فان الرجلين تتحركان كرد فعل وباتجاه عقارب الساعة وعلى الرغم من أن الجزئيين العلوي والسفلي المتحركان كفعل ورد فعل يتحركان باتجاهين متعاكسين ولكن كلاهما يتحرك باتجاه اليسار وكما هو واضح في الصورة (A) من الشكل التالي وخلال القسم الرئيسي للمهارة فان الذراعان تتحركان للأمام وباتجاه عقارب الساعة في حين تتحرك الرجلان ونتيجة كرد فعل لفعل الذراعان وباتجاه معاكس لعقارب الساعة وان كلا الجزئيين يتحركان باتجاه اليمين وكما هو واضح في الصورة (B) من الشكل التالي .

ولو مثلنا المثال السابق بلغة الأرقام ومن خلال التحليل الحركي باستخدام البرمجيات المعدة أساسا لهذا الغرض لوجدنا أن معدل الانتقال الزاوي للذراع هو (٨٥,٥ درجة) في حين كان معدل الانتقال الزاوي للرجلين (٢٠,٩ درجة) وبقسمة معدل الانتقال .



الزاوي لكلا الطرفين على الزمن المستغرق للأداء (٠,١٦ ثانية) لحصلنا على السرعة الزاوية لكل جزء، وهي (٥٣٤,٣٧ درجة/ ثانية) للذراع و (١٣٠,٦٢ درجة/ ثانية) للرجلين. وكما هو أوضح في الشكل رقم(٤). وبسبب أن وزن الرجلين (١٦,٦٨٪ من وزن الجسم الكي) هو أكثر بحدود ثلاثة إضعاف وزن الذراعين (٥,٧٧٪ من وزن الجسم الكلي) لذلك يمكن استخراج الزخم الزاوي(كمية الحركة الزاوية) لكل جزء (الذراعان والرجلان) من خلال القانون الميكانيكي بمعلومية وزن اللاعب (٨٥ كغم) :

الزخم الزاوي = عزم القصور الذاتي X السرعة الزاوية

= الكتلة X (نصف القطر)٢ X السرعة الزاوية

الزخم الزاوي للذراع = (٤,٩)X(٠,٧٣)٢ X (٥٣٤,٣٧) = ١٣٩٥

الزخم الزاوي للرجل = (١٤,١٧) X (٠,٨٦)٢ X (١٣٠,٦٢) = ١٣٦٩

ونلاحظ تقارب قيم الزخمين الزاويين لكل من الذراعين والرجلين

المثال الثالث : مرحلة عبور العارضة في قفزة الفوسبوري:

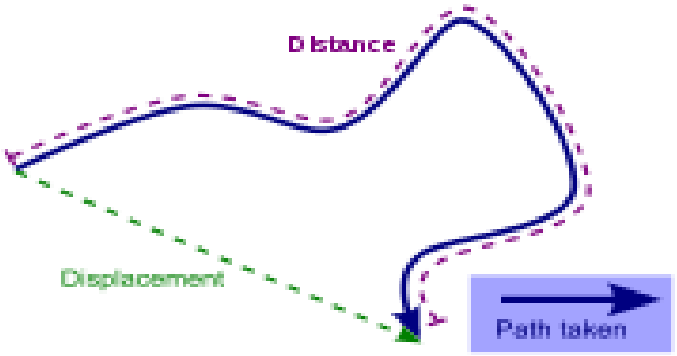
خلال مرحلة عبور العارضة في قفزة الفوسبوري فان هناك محوران رئيسيان تحدث حولهما حركات أجزاء الجسم، الأول هو المحور العرضي المار بمركز ثقل الجسم والموازي للعارضة والثاني هو المحور السهمي المار أيضا بمركز ثقل الجسم والعمودي على العارضة. أن العامل الأساسي في إتمام عملية عبور كافة أجزاء الجسم فوق العارضة بنجاح هو توافر كمية حركة دورانية حول المحور العرضي المار بمركز ثقل الجسم والذي سيؤدي إلى التقوس الحاصل في الجذع مع ثني الركبتين، أن القاعدة الرئيسية التي تحكم مرحلة عبور العارضة هي قدرة القافز على التحكم بالأجزاء التي يتم تحررها من العارضة حتى يكون لفعلها تأثيراً مباشراً وكرد فعل على الأجزاء التي لم تتحرر بعد من العارضة (خصوصا الرجلين) وبالتالي حركتهما إلى الأعلى وبالتالي نجاح القفزة من خلال الاستفادة المثلى من أفعال الأجزاء المتحررة من العارضة كردود أفعال للأجزاء التي لم تتحرر. والشكل رقم (٥) يوضح مرحلة عبور العارضة لقافزة بطريقة الفوسبوري، إذ نلاحظ فعل لجزء متحرر من العارضة(الرأس) من خلال حركته باتجاه عقارب الساعة سينتج عنه رد فعل مساور بالمقدار ولكنه معاكس بالاتجاه يعمل على رفع الرجل وحركتهما باتجاه معاكس لعقارب الساعة وبالتالي عبور الرجلين من فوق العارضة وبنجاح .

المسافة والإزاحة Distance and displace mint

إن المفهوم العام للحركة التي يؤديها جسم الإنسان هو انتقاله من مكان إلى أخر. فقطع العداء لمسافة معينة على سطح الأرض أثناء الركض يتم ذلك من خلال الحركة ولتوضيح ما هي العلاقة بين الحركة وقطع الجسم لمسافة معينة وما يرتبط ذلك بمفهوم الإزاحة، يمكن تمثيل ذلك بحركة جسم ما عندما يتحرك من مكانه لقطع مسافة معينة وعليه يكون الجسم قد أزيح عن موضعه بمقدار المسافة التي قطعها أي للمسافة والإزاحة المفهوم نفسه .

فإذا تحرك عداء من خط البداية وقطع مسافة (١٠٠ م) باتجاه خط النهاية فان إزاحته تكون بمقدار المسافة التي قطعها العداء، وعندما يتحرك عداء لقطع مسافة معينة في زمن معين أي يقطع دورة كاملة (مسافة ٤٠٠ م) بزمن قدره (٥٠ ثانية) فيكون العداء قد قطع مسافة ٤٠٠م ولكن إزاحته هنا تكون (صفر). أي بمعنى عدم إزاحته عن موضعه الأصلي بمقدار معين وباتجاه معين في نهاية الحركة.

فعندما يتحرك شخص من النقطة (A) بمقدار ٣كم إلى النقطة (B) ثم بمقدار (٤كم) إلى النقطة (C) يكون قد تحرك مسافة مقدارها (٧كم) ولكن الإزاحة بالنسبة لنقطة الأصل تكون (٥كم) من خلال تطبيق نظرية فيثاغورث .



ومن خلال ما تقدم يتضح بأن المسافة هي طول الفراغ بين نقطتين محدودتين. أما الإزاحة فتعني هي محصلة المسافة التي يتحركها الجسم من نقطة البداية إلى نقطة النهاية، أو هي التغيير النهائي للوضع أو المكان مقدارا واتجاها ، وتعني الإزاحة لجسم عن نقطة معينة بأنها (المسار المستقيم الذي يقطعه الجسم في حركته من نقطة إلى أخرى باتجاه ثابت).

السرعة والسرعة المتجهة

هل مصطلح السرعة Speed والسرعة المتجهة velocity شيء واحد ؟

إن السرعة والسرعة المتجهة مصطلحات لوصف حركة الجسم، ومع ذلك هناك اختلاف بينهم، فالسرعة (speed) توضح مقدار المسافة التي قطعها الجسم في فترة زمنية محددة، أي هي معدل قطع المسافة بالنسبة للزمن وتوصف برقم واحد، أي مقدار السرعة كمية قياسية فقط .

أما السرعة المتجهة (velocity) فإنها تتضمن الإزاحة التي قطعها الجسم في فترة زمنية محددة ، أي معدل تغير الإزاحة بالنسبة للزمن وكما تعني أيضا معدل الحركة في اتجاه معين (كمية متجهة مقدارا واتجاها) .

أي أن السرعة كمية تساوى النسبة بين كمية قياسية (المسافة) وكمية قياسية أخرى (الزمن) وتقاس م/ث أو قدم/ث أو سم/ث ... الخ، ويستخدم القانون التالي لاحتسابها :

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

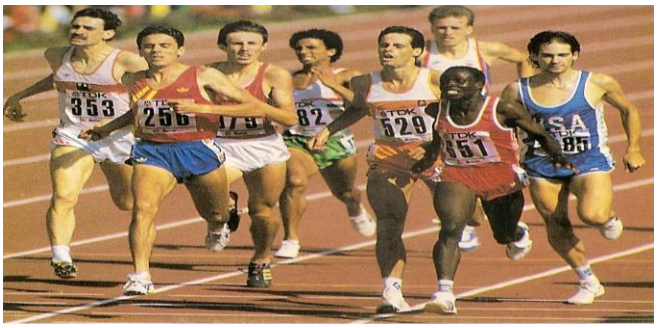
فعندما يقطع عداء مسافة ١٠٠متر بزمن مقداره ١٠ثانية فان السرعة من حيث معدلها تساوى ١٠م/ث لقطع المسافة المذكورة على اعتبار انه قد تمت بخط مستقيم والسرعة نوعان :

١- السرعة المنتظمة : تعد من ابسط الأنواع وتعرف بأنها السرعة ذات الاتجاه الثابت والتي يقطع فيها الجسم مسافات متساوية في أزمنة متساوية مهما صغرت هذه الأزمنة .

٢ – السرعة غير المنتظمة : أي أن سرعة الجسم ليست ثابتة، وتتغير بمقادير غير متساوية مثل ٣م/ث ، ١٢م/ث ، ١٧م/ث ... الخ ، أي أن السرعة تزداد بمقادير غير متساوية، وتنطبق على اغلب الأنشطة الرياضية المختلفة في أهمية تزايد السرعة لبلوغ السرعة القصوى، . أي احتساب السرعة على طول المسافة المقطوعة لكن في كثير من الفعاليات والأنشطة الرياضية يكون من الضروري احتساب السرعة في لحظة معينة مثل سرعة إطلاق الرمح أو سرعة نهوض الواثب أو السرعة في المترين الأول والثاني أو لاحتساب سرعة انطلاق العداء كلها تتم في لحظات أو جزء من الثانية ولمسافات صغيرة أحيانا وخاصة في تحليل الحركة لحل بعض المشاكل البحثية في مجال كمجال البيوميكانيك .

السرعة المتجهة Velocity

تعد السرعة كمية متجهة أي نذكر اتجاهها ومقدارها. فحركة السباح الذي يعبر النهر تتدخل فيها كل من سرعة تيار النهر Velocity وسرعة السباح Speed حتى تتحدد سرعته كناتج لهذين المتغيرين، وتقاس بوحدات الطول على الزمن (م / ث). وبما أن الوصول إلى السرعة القصوى هو هدف كل السباقات (سباحة – العاب قوى – دراجات – تجديف ..الخ) فقد أهتم العاملون في مجال التحليل الحركي بالمتغيرات التي يمكن أن تحقق ذلك كطول الخطوة وترددها في العدو، فالسرعة هي ناتج لكل من هذين المتغيرين، ومع زيادة سرعة الجري فإن خصائص كل من الطول والتردد سوف تتغير .



$$\text{السرعة المتجهة} = \frac{\text{الازاحة}}{\text{الزمن}}$$

فإذا تحرك العداء من نقطة (أ) مثلاً إلى (ب) مسافة ٣٠ متراً والمسافة نفسها قطعها عائدا وكان الزمن ذهابا وإيابا قد بلغ ١٥ ثانية، فان الإزاحة عندئذ تبلغ صفراً . أما المسافة فتبلغ ٦٠ متراً فالسرعة هنا تساوى : الحـــــــــــل

$$\text{السرعة المتجهة} = \frac{\text{الازاحة}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{صفر}}{١٥} = \text{صفر}$$

$$\text{اما معدل السرعة} = \frac{٦٠}{١٥} = ٤ \text{ م/ث}$$

اما اذا كان الجسم قد قطع مسافة بسرعة معينة وهذه السرعة تتغير باستمرار، فالجسم يتحرك بتعجيل معين، ويحدث هنا قطع إزاحات غير متساوية بفترات زمنية ربما متساوية فمثلاً العداء في الخمس الثواني الأولى قطع ١٥مترا وفي الخمس الثواني الثانية قطع ١٢مترا ، نجد أن سرعة الجسم تتغير باستمرار، والسرعة يمكن استخراجها من خلال المعادلة التالية :

$$\text{معدل السرعة} = \frac{م_{٢} - م_{١}}{ن_{٢} - ن_{١}}$$

على اعتبار أن زمن الحركة يحتسب من خلال الاختلاف بين بداية الحركة ونهايتها، فمتغير الزمن هو نظام حسابي واحد يستعمل لقياس الزمن، ويمكن أن يعبر الزمن عن سرعة الجسم، فكلما قل الزمن المستغرق مع ثبات المسافة كانت السرعة اكبر، فلو قطع العداء مسافة ٥٠ مترا بـ١٠ ثوان ثم قطع نفس المسافة ب ٨ ثوان فان سرعته في الحالة الثانية أكبر (ويقاس بالثانية أو وحدات الزمن الأخرى). ويرتبط زمن الحركة هنا بوزن الحركة وإيقاعها .

ويعتبر تحديد الأزمنة اللحظية لحساب السرعة من الأمور الهامة جداً في دراسات التحليل الحركي وخاصة للعدائين بشكل خاص، فمن الممكن أن يحققوا أرقاما عالمية خلال النصف الأول أو ثلاثة أرباع السباق، إلا أن خلل أدائهم للخطوات الأخيرة للمسافة المتبقية بإيقاع حركي خاطئ أو متخلخل أدى إلى إخفاقهم في تحقيق الأرقام، ففي إحدى الدراسات على عدائي إحدى المدارس العليا الأمريكية في سباق (١٠٠متر) وجد أن الحد الأقصى لسرعة الراكض أو العداء (٨م/ث-٨,٤م/ث) على بعد (٢٣-٣٧مترا) من نقطة البداية وان ٧,٣٪ من السرعة فقدت خلال العشرة الأمتار الأخيرة من السباق، لذا نجد أهمية احتساب القيم اللحظية والمعدلات في دراسات البيوميكانيك لحل المشاكل الحركية التي يصعب احتسابها بالعين المجردة .

مثال : تحرك عداء من نقطة (أ) باتجاه (ب) التي تبعد (٢٠مترا) بزمن ٥ثوان. استمر العداء في حركته إلى نقطة (جـ) التي تبتعد مسافة (٣٠مترا) عن (ب) بحيث بلغ (١١ثانية). ما مقدار معدل سرعته ؟

$$\text{معدل السرعة} = \frac{\text{م٢} - \text{م١}}{\text{ن٢} - \text{ن١}} = \frac{٢٠ - ٣٠}{٥ - ١١} = \frac{١٠}{٦} = ١,٦٦$$

مثال : زادت سرعة عداء من صفر إلى ٣٠ قدم / ث خلال ٣ ثوان، اوجد :

- متوسط السرعة .
- المسافة .

الحـــــل

١- متوسط السرعة = $\frac{٣٠ - \text{صفر}}{٣}$ = ١٠ قدم/ث

٢- المسافة = السرعة × الزمن = ١٠ × ٣ = ٣٠ قدم/ث

ويمكن احتساب السرعة المتجهة بيانياً أو من خلال جمع مركبة السرعة وتحليلها. حيث تمثل السرعة بطول السهم المعبر عن مقدار السرعة، ويمثل اتجاه السهم اتجاه السرعة، فإذا ما سار جسم بتأثير سرعتين في الوقت نفسه، فان محصلة السرعتين تعتمد على اتجاههما. فإذا كانت السرعتان في اتجاه واحد فان محصلة السرعة عبارة عن جمعهما هندسياً .

محصلة السرعة = س$_{1}$ + س$_{2}$ (في الاتجاه الواحد) .

فإذا بلغت سرعة جسم ٢٠م / ث وأثرت ريح بسرعة ٢م/ث في اتجاه الجسم نفسه فما مقدار السرعة النهائية .

محصلة السرعة = ٢٠ + ٢ = ٢٢ م / ث

أما إذا كانت السرعتان في اتجاهات مختلفة وعلى خط عمل واحد فان محصلتهما النهائية هي الفرق بينهما .

محصلة السرعة = السرعة الأولى – السرعة الثانية

فإذا أثرت الريح على الجسم السالف ذكره بعكس اتجاهه فان المحصلة تساوى :

٢٠ – ٢ = ١٨ م / ث

أما في الحركات التي ينطلق بها الجسم في اتجاه متعامد مثلاً أي بزوايا عمل معينة كما في رمى الثقل الذي ينطلق فيه بزاوية الاتجاه العلوي – الأمامي كذلك عند ضرب (ركل) كرة القدم باتجاه الزميل أو الهدف فيتم احتساب السرعة النهائية أو محصلة السرعة بطريقة تطبيق نظرية فيثاغورث :

محصلة السرعة^{2} = (السرعة الأولى)^{2} + (السرعة الثانية)^{2}

مثال : ضربت كرة من (أ) إلى (ب) بسرعة (٨م/ث) أثرت عليها ريح أفقية بسرعة (٦م/ث) ما مقدار سرعة الكرة النهائية واتجاه ضرب الكرة ؟

الحل : ١- احتساب محصلة السرعة^{2} =

م^{2} = (أب)^{2} + (أجـ)^{2} = (٨)^{2} + (٦)^{2} = ٦٤ + ٣٦ = ١٠٠

∴ محصلة السرعة^{2} = $\sqrt{١٠٠}$ = ١٠ م/ث

٣- لاحتساب الاتجاه لضرب الكرة يتم استخدام ظل الزاوية =

$$\text{ظل الزاوية} = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{٨}{٦} = ١,٣٣$$

∴ ظل = ١,٣٣

ومن خلال الجداول الرياضية نجد أن مقدار الزاوية = ٥٣ درجة

∴ الزاوية التي أطلقت بها الكرة مع المستوى الأفقي^{o}٥٣ .

يتم استخدام جمع السرعتين على أساس أن السرعة متغير ميكانيكي، وكما نعلم ينبغي ذكر مقدارها واتجاهها، فعندما تؤثر مثلاً أكثر من سرعة في جسم فان محصلتها تساوى المجموع الجبري لها إذا كان لهما الاتجاه نفسه، وذكرنا في حالة تعاكسهما يتم الحصول على قيمة المحصلة من خلال الفرق بينهما وفي حالة تعادلهما فان المحصلة تساوى صفراً أي هناك تأثيراً استاتيكياً .

مثال : ما مقدار محصلة السرعة النهائية لسرعتين متعامدتين أحداهما ٢٠م/ث والأخرى ٣٠م/ث .

$(م)^{٢} = (س١)^{٢} + (س٢)^{٢}$

$= (٢٠)^{٢} + (٣٠)^{٢} = ٤٠٠ + ٩٠٠ = ١٣٠٠\sqrt{} = ٣٦,٠٥$ م/ث

مثال أخر : احسب مقدار سرعة انطلاق القوس التي بلغت سرعته العمودية ٦م/ث في حين كانت بسرعته الأفقية ٢م/ث .

$(م)^{٢} = (س_{١})^{٢} + (س_{٢})^{٢}$

$= (٦)^{٢} + (٢)^{٢} = ٣٦ + ٤ = ٤٠\sqrt{} = ٦,٣٢$م/ث

أما إذا كانت الزاوية اكبر أو اصغر من ٩٠^{o} كما في اغلب الفعاليات الرياضية كالرمح والقرص والمطرقة، كرة السلة ... الخ، فتستخدم المعادلة التالية لاحتساب محصلة السرعة .

قانون المعادلة : $(م)^{٢} = (س_{١})^{٢} + (س_{٢})^{٢} + ٢س_{١} س_{٢} \times$ جتا الزاوية

فلو فرضنا أن الزاوية بين السرعتين في المثال السابق ٣٠^{o} فان محصلة السرعة تساوى :

$(م)^{٢} = (٦)^{٢} + (٢)^{٢} + ٢ \times ٦ \times ٢ \times$ جتا $<٣٠^{o}$

$= ٣٦ + ٤ + ٢٤ \times ٠,٩ = ٤٠ + ٢١,٦ = ٦١,٦$

$م = ٦١,٦\sqrt{} = ٧,٨٥$ م/ث

أما إذا ما أصبحت الزاوية ٦٠ ° فان المحصلة :

(م)^{٢} = (٦)^{٢} + (٢)^{٢} + ٢ × ٦ × ٢ × جتا < ٦٠^{o}

= ٣٦ + ٤ + ٢٤ × ٠,٥ = ٤٠ + ١٢ = ٥٢

م = √ ٥٢ = ٧,٢١ م/ث

فإذا ما كبرت الزاوية إلى ٩٠^{o} فان المحصلة :

(م)^{٢} = (٦)^{٢} + (٢)^{٢} +٢×٦×٢× جتا < ٩٠^{o}

(م)^{٢} = ٣٦ + ٤ + ٢٤ × صفر = ٤٠ + صفر = ٤٠

م = √ ٤٠ = ٦,٣٣ م/ث

نجد انه كلما ازدادت قيمة الزاوية المحصورة تناقصت السرعة النهائية لانطلاق الأداة أو سرعة حركة الجسم .

أما بخصوص الاتجاه فيتم احتسابه بوساطة ظل الزاوية وفق القانون التالي :

$$\text{ظا} = \left[\frac{\text{س}_{١} \times \text{جا} < ٣٠}{\text{س}_{٢} + \text{س}_{١} + \text{جتا} < ٣٠} \right]$$

نعود إلى المثال السابق لاحتساب اتجاه المحصلة :

$$\text{ظا} = \left[\frac{٦ \times ٠,٥}{٢ + ٦ + ٠,٩} \right] = \frac{٣}{٨,٩} = ٠,٣٤$$

∴ ظا ٠,٣٤ يساوى

مثال : سباح تأثر بسرعته العمودية ٥م/ث وبسرعة الماء ٤م/ث وبزاوية ٤٥° بينهما. اوجد السرعة النهائية والاتجاه .

الحل : السرعة النهائية :

(م)^{٢} = (٥)^{٢} + (٤)^{٢} + ٢×٥×٤× ٠,٧ = ٢٥ + ١٦ + ٢٨ = ٦٩

م = √ ٦٩ = ٨,٣ م/ث

أما الاتجاه :

$$\text{ظا} = \left[\frac{0{,}7 \times 5}{0{,}7 + 5 + 4}\right] = \frac{3{,}5}{9{,}7} = 0{,}36$$

ظا = ٠,٣٦ وتساوى من خلال الجدول تقريباً .

❖ تحليل السرعة :

إن عملية التحليل هي عكس جمع السرعة ففي هذه الحالة نعمل على تحليل المركبة إلى مركبتين أفقية وعمودية عندما تكون المحصلة معلومة القيم مع الاتجاه.

فإذا أثرت سرعة في ثقل مقدارها ١٠م/ث بزاوية ٣٠° مع الاتجاه الأفقي فما مقدار سرعته العمودية والأفقية ؟ يتم احتسابها من خلال المثلث القائم الزاوية :

$$\text{جا} < ٣٠^\circ = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} = 0{,}5 = \frac{0{,}5}{10} = 5$$

∴ ع = ٥ م/ث السرعة العمودية

$$\text{جتا} < ٣٠^\circ = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}} = 0{,}9 = \frac{0{,}9}{10} = 9$$

∴ ف = ٩ م/ث السرعة الأفقية

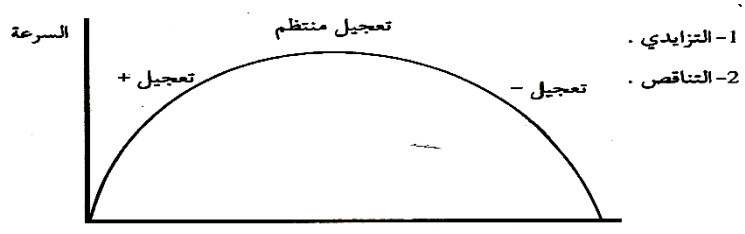
الزاوية	٣٠°	٤٥°	٦٠°	٩٠°
جا	٠,٥	٠,٧	٠,٩	١
جتا	٠,٩	٠,٧	٠,٥	صفر
ظا	٠,٦	١	١,٧	١

❖ تزايد السرعة وتناقصها :

في الحياة اليومية عند تغيير سرعة السيارة في الضغط على دواسة البنزين بالزيادة أو النقصان يعرف بتعجيل حركة السيارة أو تناقصها، وفي الأنشطة الرياضية مع زيادة سرعة حركة الجسم أو أي جزء من أجزائه يعد من الأهمية في تحقيق الأداء طبقاً للهدف، فعند هبوط السباح إلى حوض الماء وانسيابه تحت الماء يعمل على تغيير سرعته ليكسب تعجيلاً تزايدياً حتى يبلغ سرعته القصوى التي يهدف بها إلى تحقيق اكبر سرعة ممكنة خلال زمن قصير، وعداء (١٠٠متر) الذي حال انطلاقه من البداية يمكن ملاحظة تزايد سرعته التدريجي بزمن معين والذي يمدنا بمقدار تزايد سرعته من خلال الثواني الأولى حتى يصل إلى أقصى سرعة ممكنة ، مما تقدم لنا أن التعجيل هو "مقدار التغيير في السرعة خلال زمن معين" أو "معدل التغيير في السرعة" .

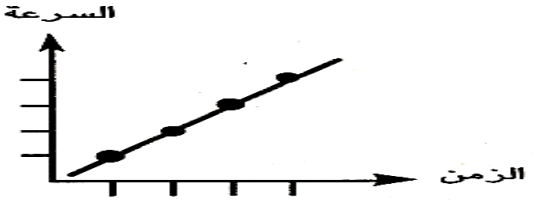
$$\text{التعجيل} = \frac{\triangle \text{ السرعة}}{\triangle \text{ الزمن}} = \frac{\text{س}^{٢} - \text{س}^{١}}{\text{ن}^{٢} - \text{ن}^{١}}$$

أما وحدات التعجيل فهي وحدة السرعة على الزمن (م/ث^{٢}،سم/ث^{٢}، قدم/ث^{٢} .... الخ)، فإذا ما قلل العداء سرعته بمعدل ١م/ث في كل ثانية ، فهذا يعنى أن التعجيل هو١م/ث^{٢}، وعند اكتسابه لتعجيل مقداره ٢م/ث^{٢} فهذا يعنى أن سرعته ازدادت ٢م/ث في كل ثانية، وإذا ما كانت حركته من السكون فان سرعته بعد الثانية الأولى (٢م/ث) وبعد الثانية(٤م/ث) ثم (٦م/ث) (٨م/ث) ، نجد أن السرعة في تزايد مستمر أي أن السرعة الثانية اكبر من الأولى، أي بسرعة متغيرة تزايدية أي بتعجيل تزايدي (موجب). أما أذا حدث العكس، أي قرب العداء من خط النهاية فانه يقلل من سرعته تدريجياً فتصبح سرعته الثانية اقل من الأولى فيصبح التعجيل تناقصيا (سالباً)، مما تقدم نجد أن هناك نوعين من التعجيل هما : تعجيل تزايدي (ايجابي) "مقدار التغيير في السرعة خلال زمن معين" وتعجيل تناقصي (سلبي) أو "معدل التغيير في السرعة".



التزايد والتناقص فى التعجيل

والتعجيل كمية ميكانيكية متجهة يجب ذكر مقدارها واتجاهها. والتعجيل أما أن يكون ثابتاً أو متغيراً، فالتعجيل الثابت تكون السرعة فيه بمقادير متساوية التزايد بزمن معين عندئذ يكون مسار التعجيل ثابتا كما في الشكل :



أما العلاقة التي يتم بها احتساب المسافة المقطوعة في هذا النوع فهي :

$$\text{المسافة} = \frac{١}{٢} (\text{السرعة}١ + \text{السرعة}٢) \times \text{الزمن}$$

وعندما يكون التغيير على طول المسافة المقطوعة لا يحدث بمقادير متساوية في وحدات زمنية ، فيتم احتساب المسافة المقطوعة في هذا النوع كما يلي:

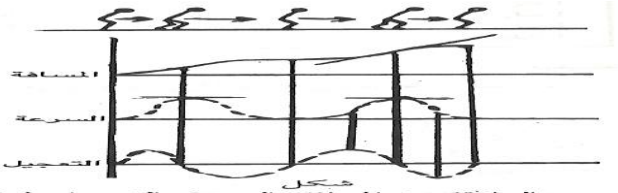
$$\text{المسافة} = \text{السرعة الابتدائية} \times \text{الزمن} + \frac{\text{التعجيل} \times \text{الزمن}^{٢}}{٢}$$

أما إذا كانت السرعة الابتدائية صفراً فان المعادلة تصبح :

$$\text{المسافة} = \frac{\text{التعجيل} \times \text{الزمن}^{٢}}{٢}$$

وفي الأجسام الساقطة سقوطاً حراً من ارتفاع معين نلاحظ استمرار سقوطها التزايدي بفعل الجذب الأرضي (٩,٨م/ث - ٩٨٠سم/ث^{٢} - ٣٢قد/ث^{٢}) كهبوط قافز الزانة من العارضة باتجاه البساط أو كهبوط لاعب الجمباز من العقلة أي هناك تعجيل تزايدي .

مما تقدم نجد أن في الحركات الرياضية لا يؤثر متغير واحد في الحصول على الحركة المطلوبة بالاتجاه المطلوب، حيث نجد من خلال الشكل العلاقة بين المتغيرات الكيناتيكية الكيناماتيكية للمسافة (الإزاحة) والسرعة والتعجيل، مثال حركة الركض والوقوف ثم الركض والوقوف، حيث تزداد السرعة أولاً وعند الوقوف تقل إلى أن تصل صفراً وهذه تعاد مرتين. أن زيادة السرعة يحتاج إلى تعجيل تزايدي (+) بينما الوقوف إلى تعجيل تناقصي (-). وهذه تعاد مرتين أيضاً. وعند مقارنة هذا المثال بحركة سير بسرعة ثابتة، فبعد التعجيل الأول نجد فروقاً حيث يحتاج للتوقف (تعجيل سلبي) ثم تعجيل ايجابي .



شكل
العلاقة بين المسافة والسرعة والتعجيل لحركة
الركض الوقوف ثم الركض الوقوف

أي كل تغيير في السرعة يحتاج إلى (قوة إضافية) تعجيل تزايدي والركض بسرعة ثابتة كذلك الحال في الدراجات والتجديف فهو أفضل اقتصادا بالجهد. ولأسباب تكتيكية تتغير السرعة أحيانا مما يتطلب تعجيلا إضافيا (قوة إضافية). وهنا نجد أهمية ملاحظة النقاط التالية :

١- إذا ابتدأ الجسم حركته من السكون فان سرعته الابتدائية تساوى صفراً .
٢- إذا كان التعجيل تناقصاً فان القيمة تكون سالبة .
٣- أهمية تحديد الوحدات القياسية للسرعة والتعجيل والموضحة في الجدول تستخدم للتحويل .

أمثلة تطبيقية :

مثال (١) : زادت سرعة عداء من الصفر إلى ٢٠قدم/ث خلال ٣ثانية، فما مقدار التعجيل ؟

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{س}_٢ - \text{س}_١}{\text{ن}} = \frac{٢٠ - \text{صفر}}{٣} = ٦,٦٧ \text{ قدم/ث}^٢$$

مثال (٢): ما هي المسافة التي يقطعها عداء قام بزيادة سرعته من السكون بتعجيل معدله ٩م/ث^٢ حتى وصلت السرعة إلى ٢٠م/ث. اوجد المسافة المقطوعة ؟

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{س}_٢ - \text{س}_١}{\text{ن}}$$

$$٩ = \frac{٢٠ - \text{صفر}}{\text{ن}}$$

$$\text{ن} = \frac{٢٠}{٩} = ٢,٢٢ \quad \therefore \text{ن} = ٢,٢٢ \text{ ثانية}$$

$$\text{المسافة} = \text{س}_{١} \times \text{ن} + \frac{\text{ع ن}^{٢}}{٢}$$

$$\text{المسافة} = \text{صفر} \times ٢,٢٢ + \frac{٩ \times ٤,٩٣}{٢}$$

المسافة = صفر + ٢٢,٢ = ٢٢,٢متر

مثال (٣): تحرك راكب دراجة بسرعة ١٥ميل/ساعة ، زادت سرعته بتعجيل منتظم حتى بلغت ٤٠ميلا / ساعة خلال ١١ ثانية . فما مقدار :

١- التعجيل .

٢- المسافة المقطوعة .

أولاً : التعجيل

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{س٢} - \text{س١}}{\text{ن}} = \frac{٤٠ - ١٥}{١١} = ٢,٢٧ \text{ ميل/ ساعة}^{٢}$$

لتحويله إلى متر/ث يضرب بـ ٠,٤٤٧ = ٢,٢٧ × ٠,٤٤٧ = ١,٠٢ م/ ث^{٢}

ثانياً المسافة المقطوعة

$$\text{المسافة} = \text{س}_{١} \times \text{ن} + \frac{\text{ع ن}^{٢}}{٢}$$

$$\text{المسافة} = ١٥ \times ١١ + \frac{١٢١ \times ١,٠٢}{٢}$$

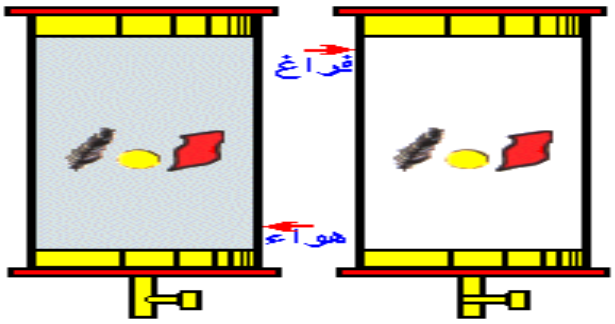
المسافة = ١٦٥ + ٦١,٧١ = ١٠١٨٢,١٥ متر

جدول		
قياسات الوحدة الخطية		يصبح
١ ميل / ساعة	=	٠,٤٤٧م/ث
١قدم/ث	=	٣٠,٤٨سم/ث
١متر/ث	=	٣,٦٠كم/ث

الفصل الخامس

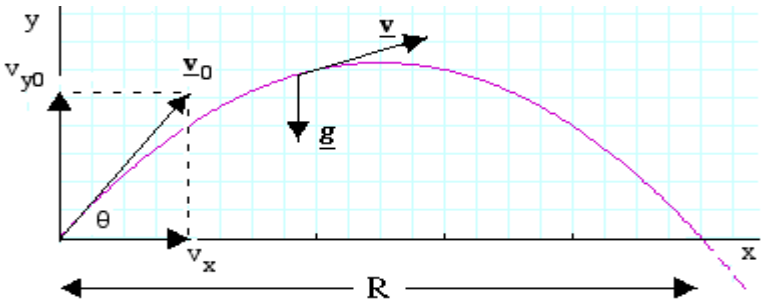
- المقذوفات.
  - أولاً : سرعة الانطلاق.
  - ثانياً : زاوية الانطلاق.
  - ثالثاً : ارتفاع نقطة انطلاق المقذوف.
  - رابعاً : مقاومة الهواء.
- القوة والحركة.
- الدفع.
- الاحتكاك.
- الشغل والقدرة والطاقة.
  - أولاً : الشغل.
  - ثانياً : القدرة.
  - ثالثاً : الطاقة.

كان الاعتقاد السائد حتى القرن السادس عشر حين وضع جاليليو فروضه ونظرياته بان الأجسام الثقيلة تسقط بمعدل أسرع من الأجسام الخفيفة، وكان لاختراع مضخات الهواء الكبيرة دوراً هاماً في الإثبات المادي لنظرية جاليليو، فعندما ضخ الهواء خارج مكان ما وتم تفريغه من الهواء تماماً لوحظ أن العملة المعدنية والريشة الخفيفة تسقطان للأسفل بالسرعة نفسها كما يلاحظ في الشكل التالي :-



ومن اجل تماثلٍ مدى الجذب الأرضي أو قوة الجذب الأرضية فالمقذوف يأخذ مساراً منحنياً متكافئاً يطلق عليه (المقطع المتكافئ) (إلا إذا كان القذف عمودياً تماماً)، قد يعتدل المسار بدرجات مختلفة بواسطة مقاومة تأثير تيارات الهواء. وهذه المقاومة تتوقف على حجم المقذوف ووزنه وشكله وسطحه وسرعته ففي رمي الرمح والقرص تؤثر على زاويتي الاتجاه والهجوم الناتجة عن :

زاوية الهجوم = زاوية الانطلاق – زاوية الاتجاه



زاوية تحديد مسار القرص

فعند أطلاق القرص في ريح ساكنة فان سرعة الريح تساوى في المقدار سرعة انطلاق القرص بالاتجاه المعاكس .

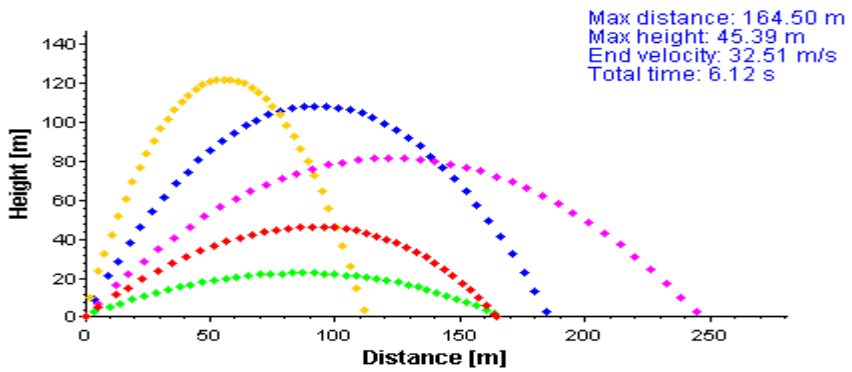
عند الرماة الجيدين يجب أن تكون زاويةٍ الهجوم سالبة المقدار والدالة على أن زاوية الانطلاق اكبر من زاوية الاتجاه. فمثلاً قام (بتراوس) ببحث على مجموعة أبطال لاحظ فيه المتغيرات الميكانيكية التالية والموضحة في الجدول :

الرياضي	زاوية الانطلاق	زاوية الهجوم	سرعة الانطلاق	المسافة
فلكنز(أمريكا)	$^{o}35$	17 -	80	200.5
درشر(أمريكا)	$^{o}37.5$	14 -	76.5	193.3
زهوريا (روسيا)	$^{o}38.5$	19.5 -	79.6	182.4
فولكين (روسيا)	$^{o}38.5$	120 -	72.5	161.0

مما تقدم نجد أن التغيرات الميكانيكية الواردة في الجدول تتحكم في مسافة أنجاز الرامي. واتفقت المصادر العلمية على أن أهم متغير هو سرعة الانطلاق الناتجة عن تعامد سرعتين، كما أن لزاوية الانطلاق تأثيرا مهما على مسافة الإنجاز وارتفاع مركز ثقل الأداة لحظة الانطلاق ، ووجد أن مقاومة الهواء لها تأثير مهم في فعاليتي القرص والرمح .

ويمكن تلخيص أهم المتغيرات الميكانيكية المؤثرة على مسافة الإنجاز :

١- سرعة الانطلاق .
٢- زاوية الانطلاق .
٣- ارتفاع مركز الثقل للأداة لحظة الانطلاق .
٤- مقاومة الهواء .



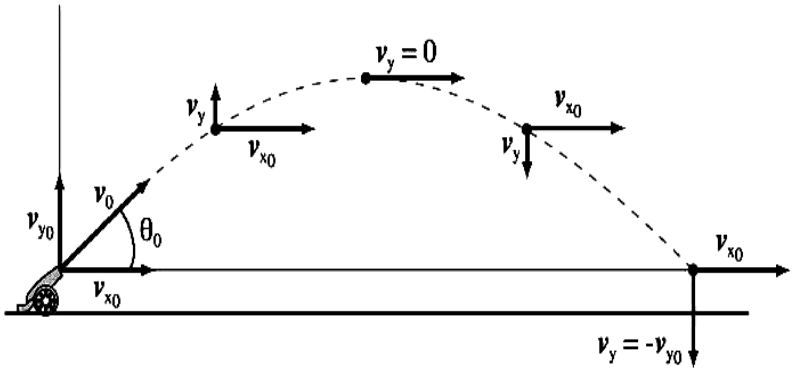
المتغيرات الميكانيكية المؤثرة على مسافة

أولاً : سرعة الانطلاق :

وهى احد أهم المتغيرات الأساسية في تحديد المسافة الأفقية أو العمودية للإنجاز . وبما أن السرعة Velocity كمية متجهة ، فإن السرعة الابتدائية للحظة انطلاق الأداة أو مركز الثقل يتحدد مقداراً واتجاهاً، وبالتالي يمكن تحليل هذه السرعة إلى مركبتين عمودية وأفقية، وتحدد الارتفاع الذي يصله الجسم .

السرعة العمودية : تتأثر بالجذب الأرضي ومقاومة الهواء، وأن أبسط مفاهيمه في فعاليات الرمي والوثب. تتغير قيم السرعة العمودية تدريجياً فتقل قيمتها وتختلف إلى أن تصل صفراً في قمة الارتفاع الذي يصله مركز ثقل الجسم ليأخذ بعدها مساراً للهبوط فتزداد السرعة العمودية حتى تصل إلى أقصاها قبل ملامسة الجسم للأرض .

السرعة الأفقية : وهى متوسط قيمة السرعة الأفقية للمقذوف قبل لحظة انطلاقه وتعد ذات أهمية على مسافة الإنجاز، وعند لحظة ترك الواثب للأرض تبقى السرعة الأفقية ثابتة على طول مسار طيران الواثب، أي أن قيمتها لا تتغير في أي لحظة من لحظات الطيران، أن السرعة الأفقية تكسب الجسم استمرارية الحركة طبقاً لقانون نيوتن الأول .



تأثير المركبتين الأفقية والعمودية على مسار طيران المقذوف

مما تقدم نجد أن سرعة الانطلاق ما هي إلا محصلة سرعتين أحداهما عمودية والأخرى أفقية، حيث تبلغ سرعة الانطلاق أقصاها لحظة انطلاق الواثب أو انطلاق الأداة من يد الرامي (الناتجة من متوسط السرعة الحركات التمهيدية الاقتراب في الوثب الطويل، والتعجيل التزايدي في الرمح) .

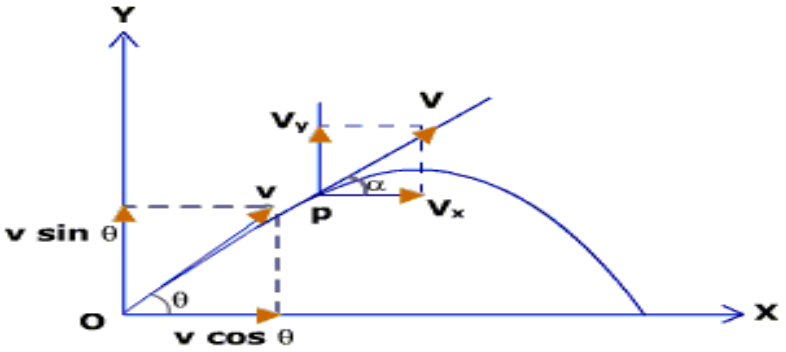
أن سرعة الانطلاق تحدد ارتفاع مسار الطيران وطوله، ففي الوثب العالي تزداد السرعة العمودية للارتقاء وتؤثر في ارتفاع طيران مركز ثقل الواثب فوق العارضة أما في الوثب الطويل فان لسرعة الاقتراب تأثيرها المهم على مسافة الإنجاز الأفقية، وتأثر السرعة العمودية في محاولة التغلب على مقومات الجذب الأرضي قدر المستطاع طبقاً للقانون التالي (في المستوى الواحد)، فكلما ازدادت السرعة ازدادت مسافة الإنجاز .

$$\text{المسافة الأفقية} = \frac{(\text{سرعة الانطلاق})^2 \times \text{جا}^2 (\text{زاوية الانطلاق})}{\text{التعجيل الأرضي}}$$

ثانياً : زاوية الانطلاق :

أن للزاوية التي ينطلق بها مركز ثقل الجسم دوراً كبيراً في تحديد المسافة الأفقية والتي يقصد بها الزاوية المحصورة بين الخط الأفقي الصادر عن مركز الثقل وبين مسار طيرانه ، وتختلف قيمتها طبقاً لاتجاه المسار الذي يسلكه مركز الثقل بالنسبة إلى المستوى الأفقي، فنجد في الوثب الطويل أنها تبلغ ما بين (17^o – 24^o) وفي الوثبة الثلاثية (14^o – 16^o) للحفاظ على الزخم الأفقي قدر الإمكان، وفى فعاليات الرمي تعد الزاوية 45 الزاوية المثالية لتحقيق اكبر مسافة أفقية ممكنة، وتتناقص قيمة الزاوية المثالية للانطلاق ، فكلما قل الارتفاع قلت قيمة الزاوية، فعند ارتفاع مركز الثقل (2.25 متر) لحظة الانطلاق فإن زاوية رمي الثقل تبلغ (42^o) وفى الارتفاع (1.6متر) تصبح (39^o) .

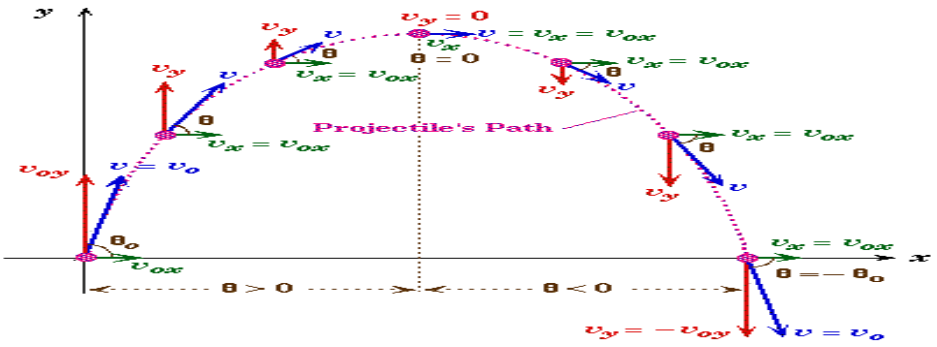
وتشير المصادر العلمية إلى أن زاوية الانطلاق لها الأهمية بعد سرعة الانطلاق وهى الأساس في اكتساب الأداة السرعة الابتدائية اللازمة لتحقيق الإنجاز



زوايا الانطلاق

أن شكل مسار المقذوف في حالة غياب مقاومة الهواء يتخذ مساراً واحداً في أشكال ثلاثة :

١. إذا بلغت الزاوية (زاوية الانطلاق) 90^{o} مع المستوى الأفقي فان المسار يأخذ شكلا عموديا (السقوط الحر) .
٢. إذا بلغت زاوية الانطلاق 45^{o} يصبح شكل المسار متكافئاً ومتماثلاً في نصفيه .
٣. الصعود والهبوط كماً وكيفاً وكذلك نصفه الأيمن والأيسر يعتبران متكافئين .



مسار المقذوف باختلاف زوايا الانطلاق

مما تقدم نجد أن المسارات النظرية للمقذوف في عدة زوايا مختلفة بسرعة معينة (ثابتة) تتخذ مسارات ذات أشكال مختلفة، فإذا ما رميت كرة بزاوية انطلاق 80^{o} مع المستوى الأفقي فأنها تختلف عنه إذا ما انخفضت الزاوية إلى 17^{o} أو 24° كما في الحساب الأفقي، بينما في النوع الثاني (المنخفضة) تأخذ مسارا طويلا منخفضا، أي تحقيق مسافة أفقية على حساب العمودية. أما زاوية الهبوط فهي الزاوية المحصورة بين مسار مركز ثقل الأداة عند هبوطه على الأرض. وتحسب من :

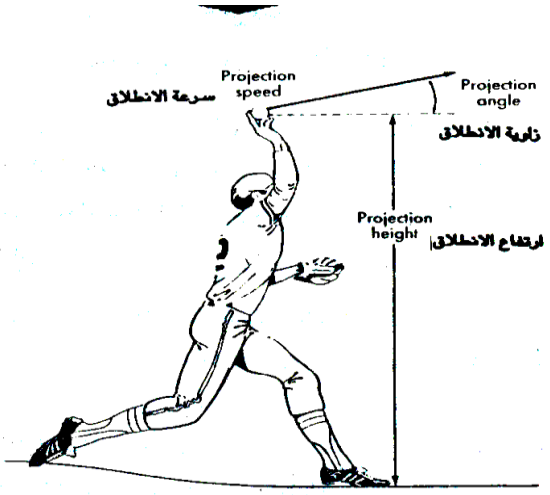
زاوية الهبوط = 90 – زاوية الانطلاق

فزاوية الهبوط في رمى القرص تبلغ 43° وكذلك في رمي الرمح. أما في السباحة فان زاوية الهبوط يطلق عليها زاوية دخول الماء وتبلغ (10° – 20°) وان الزيادة في هذه الزاوية يؤدى إلى استمرار حركة الجسم باتجاه العمق، مما يتطلب زمناً اكبر لتغيير اتجاه الجسم من العمق للأعلى وباتجاه السطح للبدء بالضربات، لذا تلعب زاوية الدخول إلى الماء دوراً حاسماً في الدخول إلى الماء وبقوة تصادم قليلة مما يقلل من مساحة الجسم الملامس للماء .

ثالثاً : ارتفاع نقطة انطلاق المقذوف :

وهي ثالث المتغيرات الميكانيكية المؤثرة في مسار طيران المقذوف، فعندما يرمى الثقل من ارتفاع (1.65م) فهذا يعنى ارتفاع في نقطة انطلاقه تزيد عن (1.65م) عن سطح الأرض وتبلغ عندها زاوية الانطلاق (39°)، بينما في ارتفاع 2.25 م تبلغ بالزاوية (42°) مما يؤدى إلى ازدياد التأثير على مسافة الإنجاز ، أي كلما قل الارتفاع تأثرت زاوية الانطلاق .

كما يعتمد الارتفاع أيضاً على طول اللاعب وطول ذراعه، حيث أن امتداد الجسم لحظة الرمي أو الدفع يؤثر على انطلاق الأداة أو الجسم، وهذا يعنى أيضاً زيادة في سرعة الانطلاق، حيث اثبت (هوخموث) أن هناك علاقة ارتباط (إيجابية) طردية بين زيادة سرعة الانطلاق وامتداد الجسم والتي تستلزم تزامناً في الأداء وتوافقاً حركياً بين أجزاء الجسم والدفع في آن واحد أي أن للقياسات الجسمية تأثيرها المهم على مسافة الرمي فكلما ارتفع ازدادت مسافة الرمية، ونجد هذا العامل مهماً وأساسياً في الرمح حيث كانت أهمية المد الكامل لمفاصل الجسم لحظة الإطلاق التي تزيد في نقطة ارتفاع الرمح المؤثرة على مسار طيرانه وإنجازه بالتالي. كذلك الحال في الوثب الطويل حتى يتغلب على تأثير الجذب الأرضي من خلال زيادة المسافة بين مركز ثقل الجسم عن مركز الجذب الأرضي فيؤدى إلى أمكانية تحقيق مسافة اكبر مع أهمية إنجازها بسرعة انطلاق عالية حيث أن زيادة (5%) في سرعة الانطلاق يؤدى إلى زيادة الإنجاز .



اختلاف ارتفاع الانطلاق للمقذوف

رابعاً : مقاومة الهواء :

إذا سقطت كرتان من قفاز الغطس الذي ارتفاعه (5 أمتار)، وكانت أحداهما مصنوعة من الفلين والأخرى من الحديد، فسنجد أن كلاهما يسبحان في الماء في أن واحد. بينما إذا بلغ الارتفاع (20 مترا) فان الكرة الحديدية ستصل أولا، لان مقاومة الهواء تزداد مع مربع سرعة حركة الجسم (الأجسام الساقطة). أي أن مقاومة الهواء تتناسب طرديا مع مربع السرعة، فإذا ما ازدادت سرعة الحركة إلى الضعف فان مقاومة الهواء تزداد أربع مرات.

مما تقدم نجد أن أقصى ارتفاع لقفزة الغطس (10أمتار) لان مقاومة الهواء على الجسم الساقط تعد قليلة، لذا نهمل عند التحليل الحركي كعامل مؤثر على سير الحركة.

أما في المقذوفات ذات المسار المنحنى ففي معظم الأحيان تؤثر مقاومة الهواء على المركبة الأفقية، فرمى كرة بسرعة محددة في الهواء الطلق سوف تختلف باختلاف تأثير سرعة الرياح. أما إذا ما أطلق في جو لا يعمل الهواء على مقاومة حركة الجسم فإن السرعة الأفقية تكون ثابتة على طول مسار الطيران ويمكن التعامل معها على أنها قيمة ثابتة .

فعند أطلاق الرمح أو القرص في ريح ساكنة يختلف عنه إذا ما أطلق في ريح شديدة لان كلا الفعالتين تتأثران بشكل كبير بقوة الريح حيث تبلغ زاوية انطلاق الرمح ($39^\circ - 41^\circ$) بريح مصاحبة ($37^\circ - 39^\circ$) بريح معاكسة وفى الحالات الاعتيادية ($37^\circ - 38^\circ$) .

إن المقذوفات سواء كانت أفقية أو للأسفل فإن زمن طيرانها يمكن حسابه من لحظة إطلاقها إلى لحظة وصولها الأرض أو المستوى الذي تسقط عليه وأن المتغيرات التي يمكن حسابها للمقذوفات من الناحية النظرية هي :

- زمن الطيران .
- أعلى ارتفاع يبلغه الجسم المقذوف .
- أبعد مسافة أفقية يبلغها الجسم المقذوف .

يمكننا تحديد قيم المركبات الأفقية والعمودية للسرعة :

- المركبة الأفقية = س × جتا < .

- المركبة العمودية = س × جا < .

ويمكن استخدام المعادلة التالية في حال كون نقطتي الانطلاق والهبوط بمستوى واحد .

$$\text{الزمن} = \frac{2 \times \text{سرعة العمودية}}{\text{التعجيل الأرضي}}$$

$$\text{المسافة} = \frac{2 \times \text{السرعة العمودية والأفقية}}{\text{التعجيل الأرضي}}$$

$$\text{المسافة} = \frac{(\text{السرعة الابتدائية للانطلاق})^2 \times \text{جا}^2 < \text{الانطلاق}}{\text{التعجيل الأرضي}}$$

$$\text{المسافة} = \frac{2(\text{السرعة الابتدائية للانطلاق})^2 \times \text{جا جتا} < \text{الانطلاق}}{\text{التعجيل الأرضي}}$$

❀ أمثلة تطبيقية على المقذوفات في المستوى الواحد :

١- انطلق ثقل بسرعة 12م/ث وبزاوية 41° ما مقدار المسافة الأفقية للثقل ؟ وما الزمن المستغرق ؟

$$\text{المسافة} = \frac{(\text{السرعة الابتدائية للانطلاق})^2 \times \text{جا}^2 < \text{الانطلاق}}{\text{التعجيل الأرضي}}$$

$$\text{المسافة} = \frac{0.49 \times (12)^2}{9.8} = \frac{0.49 \times 144}{9.8} = 7.2 \text{ متر}$$

$$\text{الزمن} = \frac{(2\times \text{السرعة}) \times \text{جا} <}{\text{التعجيل الأرضي}} = \frac{2 \times 12 \times 0.7}{9.8} = 1.7 \text{ ثانية}$$

٢- مثال : انطلق سهم بزاوية 27^{o} مع الاتجاه الأفقي بلغت سرعة انطلاقه 96 قدما/ث. ما مقدار :

١- الزمن المستغرق .

٢- المسافة الأفقية .

علما بأن مستوى الانطلاق يساوى الهبوط .

الحل :

$$\text{١ - الزمن} = \frac{2 \times \text{سرعة العمودية}}{\text{التعجيل الأرضي}}$$

بما أن السرعة العمودية = س × جا <

∴ السرعة العمودية = 96 × جا < 27 = 96 × 0.5 = 48 قدم/ث

$$\therefore \text{الزمن} = \frac{48 \times 2}{32} = 3 \text{ ثانية}$$

٢- المسافة = السرعة الأفقية × الزمن الكلى

بما أن السرعة الأفقية = س × جتا <

∴ السرعة الأفقية = 96 × جتا < 27

∴ س ف = 96 × 0.891 = 85.54 قدم/ث

∴ المسافة = 85.54 × 3 = 256.62 قدماً

والمعادلة المستخدمة في المستويين المختلفين :

$$\text{المسافة} = \frac{\text{السرعة العمودية} \sqrt{(\text{السرعة العمودية})^{٢} + ٢ \times \text{التعجيل الأرضي} \times \text{الارتفاع}}}{\text{التعجيل الأرضي}}$$

مثال : رميت كرة السلة إلى الهدف بسرعة 60 قدما/ث وبزاوية 43°، علماً بأن الرمي تم من يد اللاعب وعلى ارتفاع 6 أقدام. ما مقدار المسافة الكلية للرمي ؟

السرعة العمودية = س × جا < 43

= 60 × 0.682 = 40.9 قدم/ث

السرعة الأفقية = س × جتا < 43

= 60 × 0.731 = 43.9 قدم/ث

$$م = \frac{43.9 \times 40.9 \sqrt{\ } + (40.9)^2 + 2 \times 32 \times 6}{32}$$

= 118.3 قدم

القـوة والحركـة

من خلال حياتنا اليومية نلاحظ إننا لو حركنا مقعداً في الصف إما أن ندفعه أو نسحبه كذلك لو حركنا مسماراً ليدخل في قطعة خشب إما أن ندفعه أو نسحبه وبالتالي فان القوة يمكن أن تكون دفعاً أو سحباً .

أولاً : القـــوة :

تعرف القوة في علم الفيزياء بأنها تأثير يدفع أو يجذب المادة فيؤدي إلى توليد حركة. وترتبط القوة ارتباطاً وثيقاً بكل العمليات الطبيعية وهي تتراوح من حيث حجمها بين القوى القليلة من القوى الذرية الصغيرة وقوى الجاذبية الضخمة الموجودة في الكواكب والنجوم. والقوة كمية موجهة بمعنى أن لها حجماً واتجاهاً معيناً. وإذا تغير أحد المكونين، فسوف تكون القوة عرضة للتغير. وهناك فرع خاص في علم الرياضيات يسهل تحليل المشاكل المتعلقة بالقوة ويعرف هذا باسم التحليل الموجه حيث يمكن من خلاله صياغة القوى وتفاعلاتها في شكل مصطلحات رياضية .

❖ مفهوم القوة :

ينص القانون الثاني لنيوتن على أن (معدل التغير في السرعة أي التعجيل لأي جسم مادي يتناسب تناسباً طردياً مع محصلة القوة المؤثرة عليه وهذا التغير يحدث في اتجاه تأثير القوة) .

إذن فالقوة تعني تأثيراً إذا سلط على جسم ما سبب تغييراً في حالته الحركية، فالقوة تنتج الحركة وتوقف الحركة وتمنع الحركة وتغير الحركة، وبمفهوم بسيط يمكن القول بأن القوة هي أي تأثير يسبب حركة الجسم بتعجيل موجب أو سالب .

❖ أنواع القوة :

نحن نستخدم القوة في حياتنا بصور وإشكال مختلفة ومن أمثلة القوة التي تستخدمها :-

❖ تعريف القوة :

تعرف القوة في الفيزياء على أنها مؤثر يؤثر على الأجسام فيسبب تغييراً في حالته أو اتجاهه أو موضعه أو حركته. وهي نسبة تغير الزخم بالنسبة للزمن . والقوى هي كميات متجهة (لها مقدار واتجاه)، وتسبب في تعجيل الجسم بمقدار معين . وتقاس القوى بوحدة النيوتن .

حسب قانون نيوتن الثاني، لمعرفة القوة تستخدم المعادلة التالية :

القوة = الكتلة × التعجيل

إذا كانت العجلة تساوي عجلة الجاذبية الأرضية (٩,٨ متر/ثانية)، يمكن حساب الوزن كالتالي :

الوزن = ٩,٨ × الكتلة

القوة هي أيضاً نسبة تغير الزخم بالنسبة للزمن :

$$\text{القوة} = \frac{\text{كمية الحركة}}{\text{الزمن}} = \text{الكتلة} \times \text{التعجيل}$$

وبغية فهم القوة ككمية ميكانيكية تؤدي دوراً كبيراً في دراستنا للحركات الرياضية لابد أن نعرف أن استخدم القوة لا يقتصر على حدوث الحركة فقط، وإنما تستخدم القوة في كثير من الحركات الرياضية لإكساب الجسم حالة الثبات بمعنى آخر جعل محصلة القوى المؤثرة في الجسم صفراً من هنا يمكن تقسيم تأثير القوة إلى ما يلي :

١- التأثير الحركي :

إن تأثير القوة في هذه الحالة يسبب حدوث حركة كما في حالة دفع جسم أو تحريك جزء من أجزاء جسم الإنسان لأداء حركة معينة .

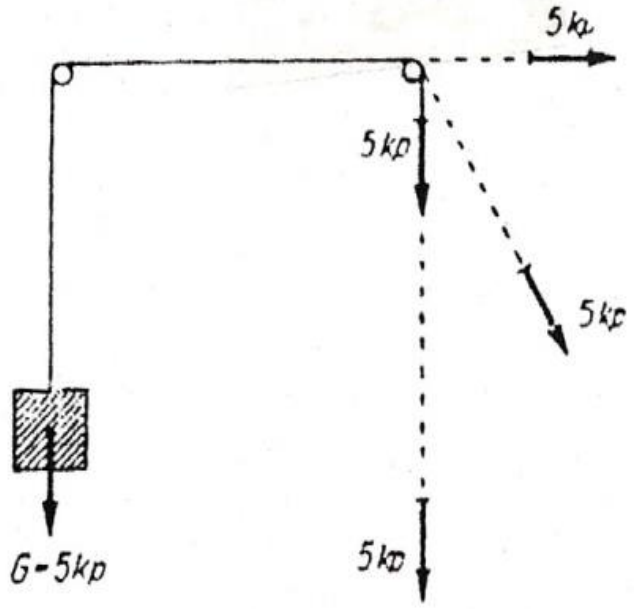
٢- التأثير الثابت :

يحدث هذا النوع من التأثير عندما تستخدم قوة للتغلب على مقاومة كبيرة جداً، بحيث لا تتمكن القوة من التغلب على القصور الذاتي لتلك المقاومة، وفي بعض الأحيان يتطلب الأمر استخدام القوة لتثبيت الجسم في وضع معين كما في حركة الوقوف على اليدين .

والقوة ما دامت تحتوي على كمية أو مقدار واتجاه فإنها كمية متجهة والقوى يمكن تصنيفها إلى قوى خارجية وأخرى داخلية فالقوى الخارجية هي تلك القوى الموجودة خارج الجسم كقوى الجاذبية ومقاومة الهواء والماء والاحتكاك .

أما القوى الداخلية فالمقصود بها قوى العضلات التي تعمل داخل الجسم وللقوة خصائص مهمة ينبغي للمدرب أو الرياضي إدراكها كي يتمكن من استخدام القوة بالشكل والاتجاه الذي يخدم هدف الحركة، وتتميز القوة بأربع خصائص هي :

- **المقدار** : ويقصد به كمية أو قيمة القوة ويقدر بالنيوتن كوحدات لتمييزه
- **الاتجاه** : ويقصد به طريق القوة كأن يكون للأمام أو للأعلى أو لليسار أو لليمين أو عمودياً على السطح بزاوية ٦٠ درجة مع المستوى الأفقي ..الخ .
- **نقطة التأثير** : هي نقطة أو موضع تأثير القوة بالنسبة للجسم فغالباً ما يكون تأثير قوة الجاذبية الأرضية ودائماً خلال مركز ثقل الجسم .
- **خط التأثير** : ويسمى أيضاً بخط القوة، ويقصد به الخط المستقيم المار بنقطة التأثير عبر الاتجاه المحدد لتأثير القوة ومثال ذلك ما يحدث طولياً لحبل الشد الذي يمر فوق بكرة كما في الشكل التالي .



يوضح الشكل تناهي خطوط الكمية المتجهة للقوة

❖ تصنيف القوة :

في الجسم البشري نادراً ما تعمل عضلة واحدة بنفسها لإعطاء قوة فنجد على الأقل أربع عضلات في التقلص للذراع وأكثر لتقلص الساق في مفصل الركبة، لذا فإن دراسة القوة من خلال خطوط عملها وحدوثها وتمثيلها في الفراغ لمعرفة محصلة تأثيراتها لذا تصنف القوة نسبة إلى حدوثها في المستوى إلى :

١-القوى الخطية (المستقيمة الاتجاه) :

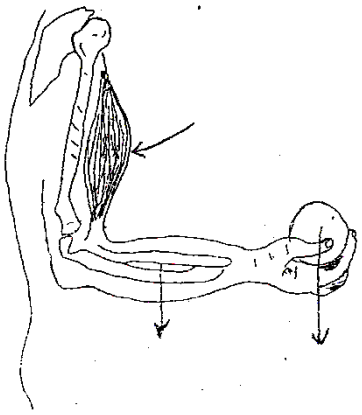
وهي القوى التي يكون عملها في خط واحد وتسمى بالقوة المستقيمة وقد يحدث إما أن تكون في اتجاه واحد في حال تأثير قوتين أو أكثر بنفس الاتجاه وتكون النتيجة لهذه القوى تعادل مجموعها، مثال ذلك عندما يدفع شخصان أو أكثر جسماً بالاتجاه نفسه وبخط العمل نفسه، وقد يكون خط عمل القوى نفسه ولكن الاتجاه يكون مختلفاً كما في لعبة جر الحبل وهنا تكون النتيجة الفرق بين القوتين .

٢-القوى المتلاقية بنقطة واحدة :

وفي هذا النوع تلتقي كافة خطوط عمل القوى المؤثرة في جسم في نقطة واحدة ولكن على زوايا مختلفة وتسمى أيضاً بالقوى المتزامنة، ومن الطبيعي أن يكون خط عمل هذه القوى مختلفاً فضلاً عن اختلافات الاتجاهات، لذا فإن استخلاص المحصلة النهائية لتأثير تلك القوى يعتمد على مقاديرها واتجاهاتها نسبة إلى الفراغ

٣-القوى المتوازية :

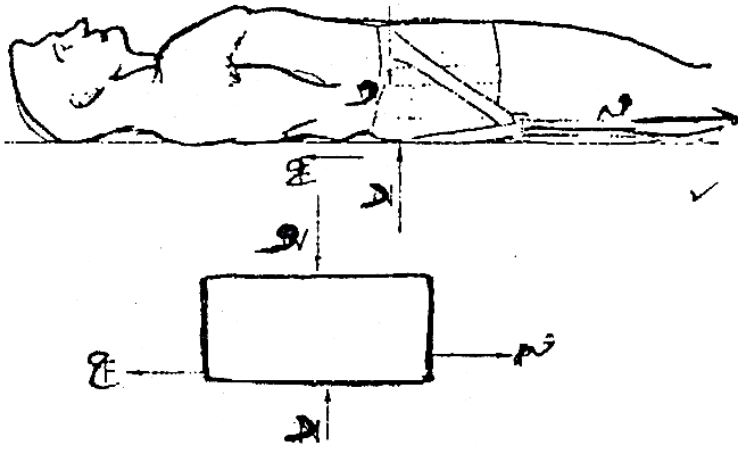
وهي القوى التي تكون خطوط عملها على نقاط مختلفة من الجسم، مثال ذلك حمل قطعة خشبية طويلة من قبل شخصين كل من طرف فهم يبذلون قوة نحو الأعلى لرفع القطعة بينما وزن القطعة الخشبية يتجه للأسفل بفعل الجاذبية الأرضية فهناك ثلاث قوى متوازية عاملة على نفس الجسم ولكن في نقاط مختلفة اثنان باتجاه واحد والثالثة باتجاه معاكس. وكمثال لهذه الحالة هو عند حمل ثقل قدره (١٠ كغم) في راحة اليد والذراع في زاوية مقدارها (٩٠ درجة). فإن قوة الجاذبية تعمل على نقاط مختلفة لسحب الساعد والثقل للأسفل بينما قوة عضلات الذراع تعمل باتجاه معاكس وعلى نقطة أخرى ساحبة الساعد للأعلى كما في الشكل التالي .



شكل القوى المتوازية

٤-القوى العامة :

إن مثل هذه القوى المتعددة تحدث في مسطح (مستوى) ولكن بطريقة تختلف عن ترتيب القوى في التصنيفات السابقة، لنأخذ على سبيل المثال، وضع الرياضي في حالة الاستلقاء على الظهر أو أي جسم آخر ومحاولة سحبه بقوة كما في الشكل أدناه. نجد أن الجسم يؤثر بوزنه باتجاه خط الجاذبية الأرضية في السطح الذي يستند إليه أو الأرض (و) وهناك قوة تعمل عكس اتجاه فعل الوزن وهي رد فعل السطح إلى الأعلى (د)، أي أن كلتا هاتين القوتين عمودية، أما القوة التي تعمل على سحب الجسم (ق) فهناك قوة تعمل عكس اتجاهها وهي قوة الاحتكاك (ح).



شكل القوى العامة

❖ القوة الطاردة والقوة المركزية :

القوة الطاردة هي القوة التي تعمل على دفع الجسم باتجاه محيط الدوران أثناء الحركة الدائرية، فرامي المطرقة يشعر خلال دورانه بأن هناك قوة شد تسحبه للخارج عن طريق السلك المتصل بالمطرقة وهي ما تسمى بالقوة الطاردة وهناك عدة عوامل تؤثر في كمية هذه القوة هي :

- كتلة الجسم الدائر - يتناسب طردياً مع القوة الطاردة .
- نصف قطر الدوران - وتناسب عكسي .
- سرعة الجسم التي تتناسب طردياً معها .

ويمكن حساب قوة الطرد عن طريق العلاقة التالية :

$$\text{القوة الطاردة} = \frac{\text{الكتلة} \times \text{السرعة}^{2}}{\text{نصف القطر}}$$

أما القوة المركزية فهي القوة التي تعمل على جذب الجسم باتجاه مركز الدوران أثناء الحركة الدائري. أو هي تلك القوة التي تجعل الجسم يتحرك بزاوية قائمة على الاتجاه الذي يسير فيه في أي لحظة في مسار دائري حول محور الدوران، والسرعة الحركية الناتجة عن تلك القوة هي سرعة ثابتة المقدار إلا أن اتجاهها متغير باستمرار، وهذا يعني حدوث تعجيل وبما أن التعجيل يعني معدل تغير السرعة فإن قيمة التعجيل الزاوي للأجسام ذات السرعة الثابتة يمكن الحصول عليه من العلاقة التالية :

$$\text{التعجيل} = \frac{\text{السرعة الخطية}^{2}}{\text{نصف القطر}}$$

ووفقاً لقانون نيوتن الثاني أن :-

القوة = الكتلة × التعجيل

إذن تكون القوة اللازمة (المركزية) لجعل الجسم يتحرك حول الدائرة بسرعة ثابتة هي :

$$\text{القوة المركزية} = \frac{\text{السرعة الخطية}^{2} \times \text{الكتلة}}{\text{نصف القطر}}$$

إن ظاهرة القوة الطاردة والقوة المركزية تدخل في الكثير من الفعاليات في المجال الرياضي ، ففي الركض حول الأقواس في المسافات السريعة والمتوسطة والطويلة وسباق الدراجات ، يحاول الرياضي البقاء في مجالات الركض وذلك لأن الركض في الأقواس ينتج عنه قوة طاردة عن المركز تعمل على إبعاد (طرد) الرياضي من مجال ركضه لذلك فإن الرياضي يعمل عن طريق قوة عضلاته على الميلان بجسمه للداخل من أجل معادلة القوة الطاردة بقوة معاكسة مركزية (نحو المركز) للمحافظة على بقائه في مجال ركضه .

مثال: عداء يزن (١٤٠) باوند يركض بسرعة مقدارها (٢٠قد/ث) في مضمار ركض طول نصف قطره (١٠٠ قدم). احسب القوة التي تعمل على سحب العداء من خارج مضمار الركض ؟

من أجل الحل نتبع ما يلي : أولاً إيجاد قيمة كتلة العداء .

$$\text{الكتلة} = \frac{\text{الوزن}}{\text{الجاذبية الأرضية}} = \frac{140}{32} = 4.375$$

$$\text{القوة الطاردة} = \frac{\text{الكتلة} \times \text{السرعة}^2}{\text{نصف القطر}} = \frac{4.375 \times (20)^2}{100} = 17.5$$

لذلك فالرياضي يجب أن يبذل قوة عضلية مركزية مقدارها (١٧,٥) إذا أراد المحافظة على ركضه بشكل مستقيم. إن هذه القوة التي يبذلها الرياضي هي قوة كبيرة يمكن أن تستغل كقوة مساعدة في تحسين إنجاز الرياضي ويمكن له مقاومة القوة اللامركزية (الطاردة) عن طريق ميلان جسمه نحو الداخل بزاوية محدودة بحدود نصف طول نصف القطر أو عن طريق إنشاء مضمار ركض بدرجة ميلان محدودة، كما هو الحال في سباقات الدراجات والسيارات، إذن هذه الزاوية يمكن تحديدها من خلال العلاقة التالية :

$$\text{ظل زاوية الميلان} = \frac{\text{السرعة}^2}{\text{التعجيل} \times \text{نصف القطر}}$$

فإذا كان العداء يعدو بسرعة ٢٠ قدم/ ث على سبيل المثال في مضمار للسباق طول نصف قوسه يساوي ١٠٠ قدم فما هي الزاوية التي يجب أن يميل بها الرياضي جسمه نحو الداخل .

ظل زاوية الميلان = $\frac{^{2}(20)}{100 \times 32} = 0.125$

إن هذا الناتج (0.125) يساوي ظل الزاوية 7 درجات لذلك فإن العداء يجب أن يميل بجسمه بزاوية ٧ درجات نحو الداخل لكي يواجه قوة الجذب اللامركزية (الطاردة) أما في حالة كون طول نصف القطر لمضمار السباق يساوي 50 قدم فإن الناتج يساوي (0.2493) وهو يساوي ظل الزاوية (14 درجة) أي أن على العداء الميلان للداخل بدرجة أكبر من درجة الميلان عندما يكون نصف القطر قصيراً .

ويلاحظ أن من أكثر تطبيقات هذه الظاهرة في الحياة العامة هو ما تصمم عليه الطرق السريعة بحيث يميل سطح الأرض للداخل في المنحنيات وكلما زادت حدة المنحنى زادت درجة الميل لتعويض ما تتأثر به السيارة من طرد مركزي يخرجها عن مسارها عند زيادة السرعة .

ثانياً : الحــركة :

الحركة وصف لجسم في حالة عدم ثبات. ولوصف حركة جسم معين وصفاً كاملاً، فلا بد من معرفة اتجاه الإزاحة . كما تعرف السرعة بأنها المسافة (الإزاحة) المقطوعة مقسومة على المدة الزمنية. ويمكن قياس السرعة بوحدات مثل الكيلومتر في الساعة، أو الميل في الساعة أو المتر في الثانية .

كما تعرف العجلة بأنها المعدل الزمني لتغير السرعة، ويقسم التغير في السرعة على المدة الزمنية التي يستغرقها هذا التغير. وتقاس العجلة باستخدام وحدات مثل المتر في الثانية تربيع والقدم في الثانية تربيع .

وبالنسبة لحجم أو وزن الجسم، فلا توجد مشاكل رياضية إذا كان الجسم صغيراً جداً بالمقارنة بالمسافات المستغرقة . أما إذا كان الجسم كبيراً، فإن به نقطة تسمى مركز الثقل يمكن اعتبار حركتها على أنها تسري على الجسم بأكمله. وإذا كان الجسم يدور، فمن المناسب وصف حركته حول محور يمر عبر مركز الثقل .

وتعتبر الحركة الدائرية نوعاً بسيطاً آخر من أنواع الحركة . فإذا كان لجسم معين سرعة ثابتة وكانت عجلته على الزاوية اليمنى من سرعته، فسوف يتحرك الجسم في شكل دائرة. وتوجه السرعة المطلوبة نحو مركز الدائرة وتسمى العجلة الجاذبة .

وبالنسبة لجسم يتحرك في سرعة (ع) في دائرة ذات نصف قطر معين (نق) ستكون العجلة الجاذبة على النحو التالي :

$$\text{جـ} = \text{ع}^2 \ / \ \text{نق}$$

وهناك نوع آخر بسيط من الحركة التي تلاحظ على الدوام وهي تحدث عندما تلقى كرة في زاوية معينة في الهواء. وبسبب الجاذبية، تتعرض الكرة لعجلة ثابتة إلى أسفل تقلل من سرعتها الأصلية التي يجب أن تكون لأعلى ثم بعد ذلك تزود من سرعتها لأسفل أثناء سقوط الكرة على الأرض. وفي نفس الوقت، فإن العنصر الأفقي من السرعة الأصلية يظل ثابتاً (حيث يتجاهل مقاومة الهواء) مما يجعل الكرة تتحرك بسرعة ثابتة في الاتجاه الأفقي حتى ترتطم بالأرض. إن المكونات الأفقية والرأسية للحركة مستقلة عن بعضها الآخر ويمكن تحليل كل منها على حدة . ويكون المسار الناتج للكرة على شكل قطع ناقص .

وهناك أنواع خاصة من الحركة يسهل وصفها. أولاً : قد تكون السرعة ثابتة وفي أبسط الحالات قد تكون السرعة صفراً ، وبالتالي لن يتغير الوضع أثناء المدة الزمنية ومع ثبات السرعة ، وتكون السرعة المتوسطة مساوية للسرعة في أي زمن معين إذا كان الزمن ويرمز له بالرمز (ن) ويقاس بساعة تبدأ عندما يكون (ن) = صفر ، عندئذ ستكون المسافة ويرمز لها بالرمز (ف) التي تقطع في سرعة ثابتة ويرمز لها بالرمز (ع) مساوية لإجمالي السرعة والزمن .

ف = ع ن

وفي النوع الثاني الخاص من الحركة تكون العجلة ثابتة حيث أن السرعة تتغير ، فلا بد من تعريف السرعة اللحظية أو السرعة التي تحدث في وقت معين . فبالنسبة للعجلة الثابتة (ج) التي تبدأ عند سرعة تقدر بصفر ، فإن السرعة اللحظية ستساوي في زمن ما القيمة الآتية :

ع = جـ ن

❖ مفهوم الحركة :

إذا نظرنا حولنا فإننا نلاحظ أن الأشياء حولنا عبارة عن كائنات حية تعتبر الحركة احد مظاهر الحياة لها وأشياء غير حية لا تتحرك من ذاتها. ومن خلال دراستنا سابقاً لموضوع الحركة فقد عرفنا الحركة بأنها :

تغير في موضع الجسم بالنسبة لجسم أخر مع مرور الزمن .

ومن ذلك نجد أن السرعة هي المسافة التي يقطعها الجسم المتحرك خلال وحدة الزمن وبالتالي يمكن حساب السرعة من القانون التالي :

السرعة = $\frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$ ووحدة قياس السرعة هي م /ث، كم / ساعة

❖ كمية الحركة :

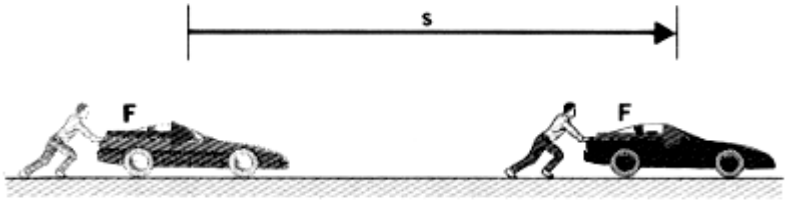
زخم الحركة أو كمية الحركة هو أحد الكميات الفيزيائية التي عرفت ابتداء في الفيزياء الكلاسيكية على أساس أنها حاصل ضرب الكتلة في السرعة، ووحدات كمية الحركة أو زخم الحركة هي : كيلوغرام متر / ثانية .

وكمية الحركة لجسيم كتلته (ك) ذو سرعة (س)، تعرّف على أنّها حاصل ضرب الكتلة في السرعة.

كمية الحركة = الكتلة × السرعة

وحدة الزخم حسب جملة الوحدات القياسية : كيلوغرام .م/ث، يجب أن لا يخلط بينها وبين وحدة نيوتن لقياس القوة التي تعتبر حاصل ضرب للكتلة في التسارع (أو العجلة).

الدفع : thrust



الدفع يساوي حاصل ضرب القوه المؤثرة بالزمن

دفع = ق × ز

يسمى ناتج القوة في زمن تأثيرها بالدفع، ونستنتج منها أن المسبب للعجلة هي القوة الكلية، وكلما صغرت الفترة الزمنية يطلق على العجلة، العجلة اللحظية أي العجلة التي تتعين في اللحظة الزمنية المعطاة. وهذه العجلة اللحظية تتغير بتغير القوة الكلية المؤثرة على الجسم. في ما عدا قوة الجاذبية الأرضية، فمعظم القوة الخارجية تتغير بمرور الزمن، وعلية تتغير تبعا لها العجلة.

ويتضح أن القوة المطلوبة لكي تنتج تغيراً معلوماً في السرعة، في زمن محدد تتناسب مع كتلة الجسم ويسهل ملاحظة أنه كلما زاد معدل التغير في سرعة جسم معلوم الكتلة فان ذلك يعني زيادة الدفع طردياً وإذا زاد أي من الزمن أو القوة، فان ذلك سوف يؤدي إلى زيادة في معدل التغير في السرعة ، وزيادة قيمة كلاً من التغيرين (القوة أو الزمن) إلى الضعف يعني تضاعف معدل التغير في السرعة.

وفي ضوء القانون الأساسي للديناميكا فان :

القوة = الكتلة × التعجيل

يمكن الاستدلال على مفهوم الدفع بانة التغير في كمية الحركة ، فإذا أثرت قوة ما في جسم ساكن فان هذا الجسم يبدأ في الحركة ويصل إلى سرعته النهائية من خلال :

⇔ السرعة = الكتلة × الزمن .

⇔ وان القوة = الكتلة × التعجيل .

⇔ وكمية الحركة = الكتلة × السرعة .

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

⇔ القوة الزمنية = الكتلة × السرعة .

⇔ القوة الزمنية = كمية الحركة .

ويعرف دفع القوة بانة " حاصل ضرب متوسط القوة في زمن تأثيرها " فعندما تعمل قوة خارجية على جسم ما فإنها تغير من حالة كمية حركته، والتغير في كمية الحركة لا يعتمد فقط على مقدار القوة الخارجية المؤثرة، ولكنة يعتمد أيضاً على زمن تأثير هذه القوة، فناتج ضرب القوة في الزمن يعرف بالدفع .

وأيضاً يمكن أن نعرف الدفع لجسم ما خلال فترة زمنية بانة " يساوي التغير الناشئ في كمية حركته خلال تلك الفترة .

ويتميز هذا التغير الميكانيكي في أشكال كثيرة من مراحل الأنشطة والفعاليات الرياضية وخاصة في فعاليات الوثب والقفز كمرحلة أساسية، فالدفع بمفهومه يتوافر في الارتقاء والارتكاز في الجمباز أو الارتقاء بالرجلين أو لصد بلوك في الكرة الطائر، حيث أن طبيعة القوة غير ثابتة على مدى زمن التأثير فهي متغيرة بتغير عوامل كثيرة أهمها العضلات العاملة على المفاصل المشتركة في عملية الدفع

❀ الأمثلة :

في لعبة البيسبول ضرب اللاعب الكرة الواردة إليه بسرعة 40 م / ث فارتدت بسرعة 50 م / ث . فإذا علمت أن زمن التلامس بين الكرة والمضرب بلغ 0.00135 ثانية ، وأن كتلة الكرة 150 غراماً (0.15 كغم) ، عين :

أ) الدفع .

ب) القوة المتوسطة المؤثرة على الكرة .

ج) القوة المتوسطة المؤثرة على المضرب .

الحـــــــــل :

أ) باستخدام العلاقة بين الدفع والتغير في كمية الحركة ، يكون مقدار الدفع .

الدفع = القوة × الزمن = الكتلة × تغير السرعة = الكتلة (السرعة الابتدائية × السرعة)

الدفع = $0.15 (50 - (- 40)) = 13.5$ كيلو جرام / ثانية .

ملاحظة : السرعتين إحداهما سالبة والأخرى موجبة لأن اتجاههما متعاكس .

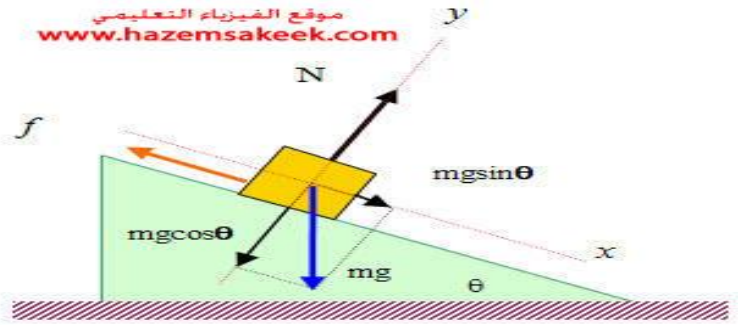
ب) وباستخدام نفس العلاقة فإن :

القوة = الدفع / الزمن = $13.5 / 0.00135 = 10000$ نيوتن

ج) باستخدام قانون نيوتن الثالث عندما يؤثر جسم على آخر فإن :

القوة^{1} = - القوة = - 10000 نيوتن

الاحتـــــكاك :



الاحتكاك قد يكون معوقاً أو مرغوباً لمساعدة الرياضي في حفظ توازنه والسيطرة على جسمه فقوى الاحتكاك يجب أن تكون عالية بين الجليد والزحافة عند الارتطام كي يتمكن المتزحلق من السيطرة على توازن جسمه ويجعل عجلته تزايدية بقوة كبيرة، كذلك فإن لاعب الجمباز يرتدي حذاء خاص لكي يتمكن من السيطرة على قوى الاحتكاك الناشئة بين الأرض وقدمه لغرض المحافظة والسيطرة على توازنه عند الحركة .

ويعتبر الاحتكاك قوة تطبق في الاتجاه العكسي لسرعة الجسم . ففي حالة الاحتكاك الجاف المنزلق حيث لا يوجد تشحيم أو تزييت، تكون قوة الاحتكاك مستقلة عن السرعة تقريبا. كما أن قوة الاحتكاك لا تعتمد على منطقة الاتصال بين الجسم والسطح الذي ينزلق عليه. وتعتبر منطقة الاحتكاك الفعلية منطقة صغيرة الحجم نسبيا، وتعرف منطقة الاحتكاك بأنها تلك المنطقة التي يحدث فيها تلامس فعلي بين كل من النتوءات الصغيرة الموجودة على الجسم والسطح الذي ينزلق عليه .

أثناء تحرك الجسم على السطح المنزلق، تصطدم كل من النتوءات الصغيرة الموجودة عليه وذلك السطح، وحينئذ تكون القوة مطلوبة لنقل النتوءات بجانب بعضها الآخر. وتعتمد منطقة الاتصال الفعلي على القوة العمودية بين الجسم والسطح المنزلق. وتعادل هذه القوة غالبا وزن الجسم المنزلق تماما. ومع هذا، فإذا دفع الجسم بزاوية أفقية، فإن المكون الرأسي النازل لأسفل للقوة سوف يضيف إلى وزن الجسم. وتتناسب هذه القوة الاحتكاكية مع إجمالي القوة العمودية .

وعندما توجد القوة ، سوف يصبح القانون الثاني للحركة على النحو التالي :

ق فعالة – احتكاك ق = ك ج

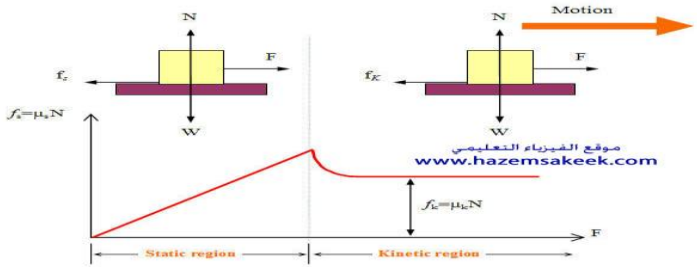
يمثل الجانب الأيسر من المعادلة ببساطة في القوة الفعالة. (سوف تكون العجلة ثابتة في اتجاه القوة الفعالة). ومع هذا، فإذا تحرك الجسم عبر سائل، سيعتمد حجم الاحتكاك على السرعة. وبالنسبة لمعظم الأجسام التي يكون حجمها في مثل حجم الإنسان والتي تتحرك في الماء أو الهواء (بسرعة أقل من سرعة الضوء)، سيكون الاحتكاك الناتج متناسبا مع مربع السرعة. ومن ثم، يصبح القانون الثاني للحركة على النحو التالي :

ق فعالة – ث ن٢ = ك ج

ويعتبر ثابت التناسب من الصفات المميزة للمادتين اللتين تنزلقان بعد بعضهما الآخر، ويعتمد هذا الثابت على منطقة الاتصال بين السطحين ودرجة انزلاق الجسم المتحرك .

❖ تعريف الاحتكاك :

هي القوة المقاومة التي تحدث عند تحرك سطحين متلاصقين باتجاهين متعاكسين عندما يكون بينهما قوة ضاغطة تعمل على تلاحمهما معا (وزن أحد الجسمين مثلا). وتنتج كمية من الحرارة. يحدث الاحتكاك بين المواد الصلبة، السائلة والغازية أو أي تشكيلة منهم.



وقوة الاحتكاك هي حاصل ضرب القوة الضاغطة بين الجسمين في معامل الاحتكاك. قح = قض μ X

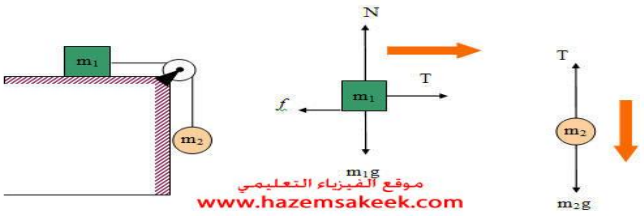
حيث: قح : قوة الاحتكاك ، قض : القوة الضاغطة بين الجسمين أو القوة العمودية على السطح الفاصل بينهما

μ : معامل الاحتكاك ، إما الساكن (μس) أو الحركي (μح)

يعتبر الاحتكاك قوة تطبق في الاتجاه العكسي لسرعة الجسم. فمثلا إذا دُفع كرسي على الأرض نحو اليمين تكون قوة الاحتكاك متجهة إلى اليسار. وتنشأ قوة الاحتكاك بين الأجسام نتيجة وجود نتوءات وفجوات بين الأسطح فكلما كانت الأسطح ملساء كلما قلت تلك القوة. أثناء تحرك الجسم على السطح، وتصطدم كل من النتوءات الصغيرة الموجودة عليه وذلك السطح، وحينئذ تكون القوة مطلوبة لنقل النتوءات بجانب بعضها الآخر. وتعتمد منطقة الاتصال الفعلي على القوة العمودية بين الجسم والسطح المنزلق، وتتناسب هذه القوة الاحتكاكية مع إجمالي القوة العمودية وتعادل هذه القوة غالبا وزن الجسم المنزلق تماما. وفي حالة الاحتكاك الجاف المنزلق حيث لا يوجد تشحيم أو تزييت، تكون قوة الاحتكاك مستقلة عن السرعة تقريبا.

❖ معامل الاحتكاك :

هو كمية عددية تستخدم للتعبير عن النسبة بين قوة الاحتكاك بين جسمين والقوة الضاغطة بينهما، وليس له وحدة قياس . ويعتمد على مادتي الجسمين .



مثلا الجليد على المعدن لهما معامل احتكاك قليل (أي إنهما ينزلقان على بعض بسهولة). أما المطاط على الإسفلت فلهما معامل احتكاك عالي جدا (لا ينزلقان على بعض) .

❖ أنواع الاحتكاك :

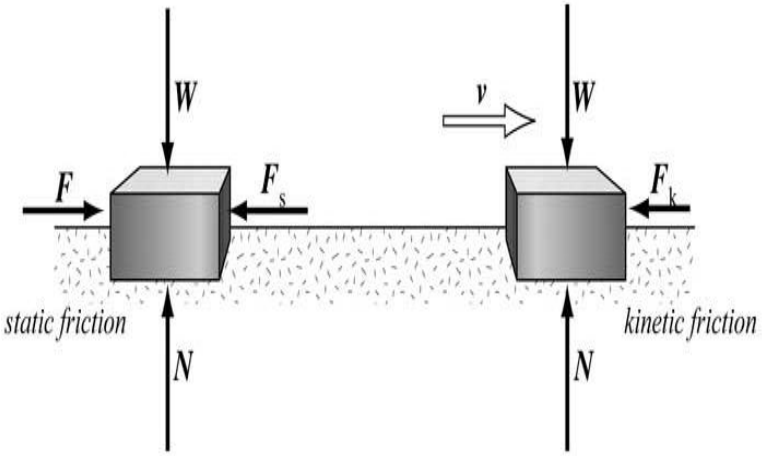
أولاً : الاحتكاك الساكن

يحدث الاحتكاك الساكن عندما يكون الجسمان غير متحركان بالنسبة إلى بعضهما البعض (مثل الطاولة على الأرض). معامل الاحتكاك الساكن يرمز له بالرمز (μ س). القوة الابتدائية اللازمة لتحريك هذا الجسم تكون عادة أكبر بقليل من قوة الاحتكاك الساكن. يكون معامل الاحتكاك الساكن عادة أكبر من معامل الاحتكاك الحركي.

مثال على الاحتكاك الساكن هو القوة التي تمنع عجلات السيارة من الانزلاق على سطح الدوران. فعلى الرغم من أن العجلات تدور، إلا أن النقطة النسبية للحركة بين العجلة والأرض تكون ساكنة بالنسبة للأرض ولذلك يكون الاحتكاك ساكن وليس تحريكيا.

ثانياً : الاحتكاك الحركي :

يحدث الاحتكاك الحركي عندما يتحرك الجسمين بالنسبة إلى بعضهما البعض و يحتك أحدهما بالآخر(مثل مزلجة على الأرض). معامل الاحتكاك الحركي يرمز له بالرمز (μ_k). و يكون عادة اقل من معامل الاحتكاك الساكن.



❖ أولاً : الشغـــل :

الشغل ميكانيكا يعني الإنتاج لكمية القوى المبذولة والمسافة التي خلالها توجه القوة للتغلب على المقاومة التي يعمل عليها. والمقاومة ربما تكون مقاومة الجاذبية الأرضية أو مقاومة الاحتكاك ..الخ وما لم تعمل القوة مسافة خلالها فإنه ليس هناك شغل مهما تكن القوة عظيمة. وقد استخدم مصطلح الشغل بعدة صور وبإشكال مختلفة متعددة، فعند بذل جهد في العمل فان ذلك الموضوع يحتاج إلى بعض الشغل، لكن ميكانيكياً يختلف كثيراً فهو يعني قوة تعمل ضد مقاومة مضروبة في المسافة التي تحركها هذه المقاومة، لو أثرت قوة معينة في جسم وتحرك بفعل تأثير القوة فإنها تكون قد أنجزت شغلاً، أي أن :

الشغل = القوة × الإزاحة

أما وحدة الشغل (نيوتن × متر = جول)

فعندما تؤثر قوة في جسم ما بحيث لا يتمكن من تحريكه فلا يمكن القول أن هناك شغلاً ميكانيكياً، قد يحدث ما دام الجسم لم يتحرك، وعندما تنقبض العضلات لتحريك أطراف الجسم، فان الشغل الميكانيكي من الممكن أن يكون شغلاً سالبا أو موجباً وفقاً لنوع الانقباض، فالشغل الناتج في التقصير يعد شغلاً موجباً، أما الشغل الناتج عن الانقباض العضلي بالتطويل فيعد شغلاً سالباً، فاشغل الإيجابي يتطلب سعرات حرارية أكثر من الشغل السلبي، ولا توجد علاقات بين السعرات الحرارية المطلوبة في حاله عمل العضلات لبذل شغل موجب أو سالب .

مثـــال :

فعندما يرفع الرباع الثقل عن الأرض فان الشغل يكون موجباً، أما بالنسبة إلى الشغل المنجز عند عودة الثقل إلى الأرض فيكون سالباً، أي عكس اتجاه الإزاحة .

وعنـد نهـوض القـافز باتجـاه العارضـة فـان الشـغل المنجـز يكـون موجبـاً (الارتفاع × القوة) أما عند الهبوط إلى البساط فان الشغل يكون سالباً .

مثال تطبيقي :

احسب مقدار الشغل المبذول والناتج عن قوة 100 نيوتن حركت جسم مسافة 20 متر عن موضعه الأصلي . ثم ما مقدار الشغل إذا كانت المسافة 30 متراً ؟

❀ الحـــــــل :

الشغل = القوة × الإزاحة = 100 × 20 = 2000 جول

الشغل = 100 × 30 = 3000 جول وهنا الشغل اكبر

الشغل يتناسب طردياً مع القوة والمسافة ، فإذا ما استخدمت قوة على سبيل المثال مقدارها (200 نيوتن) بتحريك عربة بمسافة (40 متر) فمقدار الشغل لإنجاز ذلك هو :

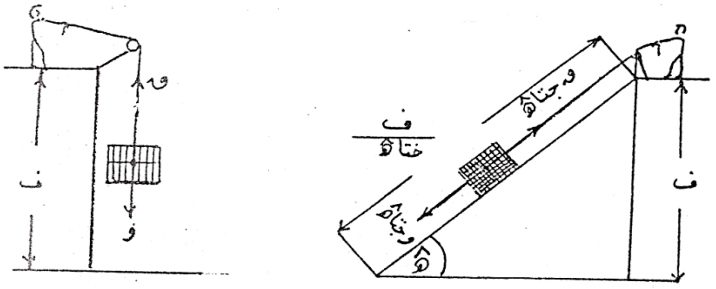
الشغل = القوة × الإزاحة = 200 × 40 = 8000 نيوتن /م أو جول .

إذن الشغل هو الإزاحة التي يقطعها الجسم بتأثير قوة مع ضرورة حدوث الإزاحة باتجاه خط عمل القوة المؤثرة، بمعنى أن من مستلزمات حدوث الشغل من الناحية الميكانيكية ينبغي أن تكون هناك إزاحة . فإن لم تحدث على الرغم من أن الجسم قد قطع مسافة معينة لذا فإن القوة لا تنجز شغلاً فعلى سبيل المثال إذ رفع شخص حقيبة شاقولاي وزنها 20 نيوتن من الأرض ليضعها على الرف الذي ارتفاعه (2.5 م) فالشغل المنجز هو :

ش = و × ع الوزن يعبر عن القوة والارتفاع يعبر عن الإزاحة .

ش = 20 × 2.5 = 50 نيوتن/ م أو جول .

إلا أن من الناحية الأخرى إذا ما رفع نفس الوزن لنفس المسافة إلا أنها على سطح منحدر فكمية الشغل المنجز لازالت نفسها، فالمسافة الأفقية لحركة الحقيبة لا تدخل ضمنها لأن الإزاحة حصلت بنفس اتجاه القوة المستخدمة (الشكل التالي) الشغل المنجز في نفس اتجاه الجسم المتحرك يسمى بالشغل الموجب أما إذا أنجز في اتجاه معاكس فيسمى بالشغل السالب.



شكل تشابه الشغل رغم اختلاف المسافات بسبب ثبات الوزن وارتفاع مكان الرفع

فلو سلط رياضي قوة مقدارها (١٠٠٠ نيوتن) لرفع ثقل للأعلى مسافة (٠,٣م) فإن الشغل يساوي :

ش = ق × و = 1000 × 0.3 = 300 جول .

إما إذا سلط نفس الرياضي نفس القوة لخفض الثقل نفس المسافة فإن الشغل سيساوي نفس المقدار إلا أن الفرق بين الحالتين أن الشغل المنجز باتجاه الأعلى يسمى بالشغل الإيجابي لأن الإزاحة حدثت باتجاه خط عمل القوة المؤثرة، أما الشغل المنجز للأسفل فهو شغل سلبي لأن الإزاحة حدثت بعكس اتجاه خط القوة المؤثرة (عكس اتجاه حركة الثقل) .

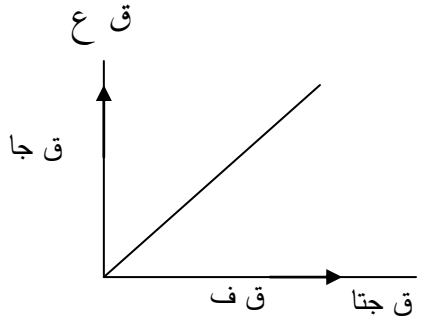
❖ تحليل مركبات الشغل :

لو كانت القوة (ق) والإزاحة (ز) لهما خط عمل مختلف بحيث تكون هناك زاوية بين خطي عملهما، مثل تحليل حركة العداء عند أدائه للخطوة فإن القوة التي يبذلها تتحلل إلى مركبتين في اللحظة نفسها أحدهما القوة الأفقية (ق ف) والتي يتغلب من خلالها على قوة الاحتكاك الناتجة عن السطح وكذلك مقاومة الهواء الأفقية والتي غالباً ما نهمل عند تحليل الحركات الرياضية - أما المركبة الثانية فهي العمودية (ق ع) والتي تعمل بشكل رئيسي ضد قوة الجاذبية الأرضية .

ويمكن حساب قيم كل من المركبتين الأفقية والعمودية عن طريق قوانين المثلثات وكالآتي : -

القوة العمودية = ق × جا الزاوية .

القوة الأفقية = ق × جتا الزاوية .



إن مقدار الشغل الكلي الناتج عن القوة الكلية :

الشغل الكلي = الشغل الأفقي + الشغل العمودي

= ق × ز × جتا هـ + ق × ز× جا هـ

فيما يتعلق بالشغل الأفقي، فإذا كانت الإزاحة الحاصلة بنفس الاتجاه للقوة المستخدمة فإن الزاوية بينهما صفر وعند تطبيق القانون نجد أن جتا ° صفر = ١

عندئذ يكون مقدار الشغل أكبر ما يمكن .

أما إذا كان اتجاه الإزاحة يحدث بشكل متعامد مع القوة المؤثرة فتكون الزاوية بينهما (90 درجة) ، ولما كان جتا 90 = صفر عندئذ يكون مقدار الشغل صفراً .

❖ وحدات قياس الشغل :

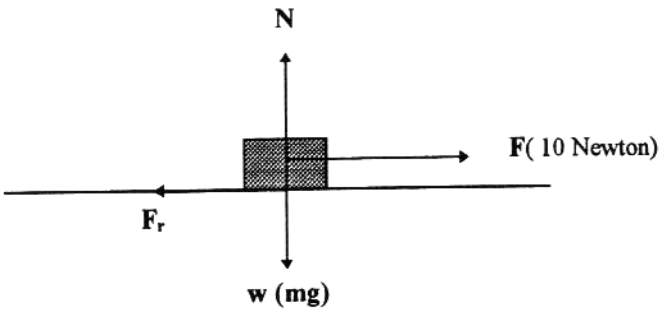
إذا كانت وحدة قياس القوة (نيوتن) ، والإزاحة (متر) ، فإن وحدة الشغل (الجول) وبذلك يمكن تعريف الجول (بأنه الشغل الذي تبذله قوة ثابتة مقدارها (١) داين، فتحرك جسماً مسافة (١) سم باتجاهها).

❖ مثـــــــال :

قوة ثابتة مقدارها (10) نيوتن تؤثر أفقياً في جسم موضوع على سطح أفقي خشن، فإذا كان معامل الاحتكاك بينه وبين السطح (0.2)، وكانت كتلة الجسم (1) كغ، والمسافة التي تحركها الجسم على السطح (5) متر، فاحسب :

١- الشغل الذي تبذله القوة المؤثرة .
٢- الشغل الذي تبذله قوة الاحتكاك.

❀ الحـــــل :



بما أن قوة الاحتكاك = 10 نيوتن

ادن القوة = 0.2 × 10 = 2 نيوتن

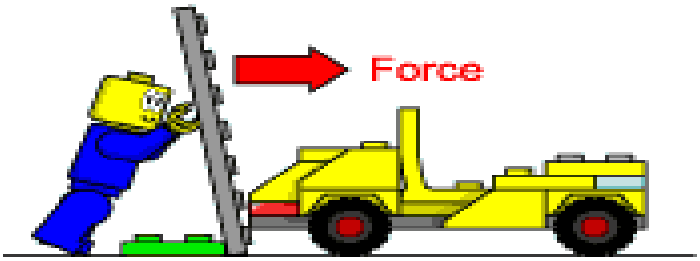
والشغل الذي تبذله القوة المؤثرة يساوي =

ش = 10 × 5 × 1 = 50 جول

والشغل الذي تبذله قوة الاحتكاك يساوي =

ش = 2 × 5 = 10 جول .

❖ ثانياً : القـــــدرة :



كثيراً ما يستخدم لفظ القدرة في حياتنا اليومية العامة فيقال أن اللاعب لديه قدرة على الوثب مثلاً أو القفز من فوق جهاز ما، والواقع أن ذلك يعتبر من الناحية الميكانيكية شغلاً، بينما العداء الذي يجري (100 م) مثلاً هو الذي لديه القدرة من الناحية الميكانيكية، لأن القدرة هي شغل مرتبط بزمن معين، فإذا جرى العداء (100 م) دون التقيد بزمن فهو في الواقع ينجز شغلاً، إن الشغل المنجز سواء أنجز في ثانية أو دقيقة أو في ساعة هو نفس الشغل من حيث كمية الشغل، ولكن الذي يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار وفي كثير من الفعاليات في مجالنا الرياضي هو ليس التفاضل بين مقدار الشغل المنجز، ولكن بالزمن الذي أنجز فيه هذا الشغل، فالذي ينجز الشغل بفترة زمنية أقل أفضل من الذي ينجز الشغل نفسه ولكن بفترة زمنية أطول .

فالقدرة هي معدل الشغل المنجز خلال فترة زمنية معينة وتقاس بالوات أي أن :

القدرة = الشغل / الزمن = القوة × الإزاحة / الزمن

فعلى سبيل المثال :

إن قدرة الرياضي الذي ينجز شغلاً مقداره (600 جول) في رفع ثقل فوق رأسه بزمن قدره (1.5 ثانية) هي :

القدرة = 600 جول / 1.5 ثانية = 400 وات .

في حين لو أن رياضي آخر أدى الشغل نفسه بفترة زمنية أكبر ولتكن (2 ث) لأطلقنا على الرياضي الأول بأنه أكثر قدرة من الآخر .

= 600 / 2 = 300 وات .

ومما تقدم نستطيع أن نلاحظ صلة الربط بين السرعة والقدرة، فلو رجعنا إلى المعادلة الجبرية للقدرة نجد أن :

القدرة = الشغل / الزمن = القوة × الإزاحة / الزمن

ولما كانت الإزاحة / الزمن = معدل السرعة

إذاً القدرة = القوة × معدل السرعة

ومما ورد أعلاه نجد أن العلاقة بين القدرة والسرعة هي علاقة طردية فكلما زادت السرعة زادت القدرة زيادة عالية وهذا ما نجده في رمي الثقل حيث تزداد القدرة عندما تكون السرعة عالية في لحظة ترك الثقل يد الرامي والعكس صحيح أي على المدربين الانتباه للفترة الزمنية التي تتم فيها الحركة أو المهارة كي يتحقق مبدأ القوة المميزة بالسرعة .

❖ القدرة كمؤشر للياقة البدنية :

ويعتبر قياس القدرة من الأهمية مؤشر للياقة البدنية ، كما أنه مؤشر مهم يوصلنا إلى حقيقة مفادها أن فعل القوة يكون اكبر تأثيراً عندما يؤدى بسرعة اكبر خاصة في الفعاليات التي تتطلب قوة دفع قصوى ، كالوثب العالي والوثب الطويل والثلاثية حيث تؤدى الحركات بسرعة (عالية أحياناً) لدورها الكبير والفعال وبقوة عالية ، وفي أن واحد يحقق فيه مبدا القدرة .

وتنمى خاصية القدرة من خلال الشد العضلي وسرعة التقلص العضلي للحصول على الحالة الجيدة للربط ما بين القوة والسرعة ، فكلما كانت القدرة جيدة كانت النتائج أفضل ، وتشير بعض المصادر إلى اعتماد القدرة على بناء الجسم، فالجسم العضلي قدرته اكبر ، كما تعتمد على العمر والجنس والتدريب بالأثقال على أنه عامل للتنمية القدرة وتطوير الإنجاز .

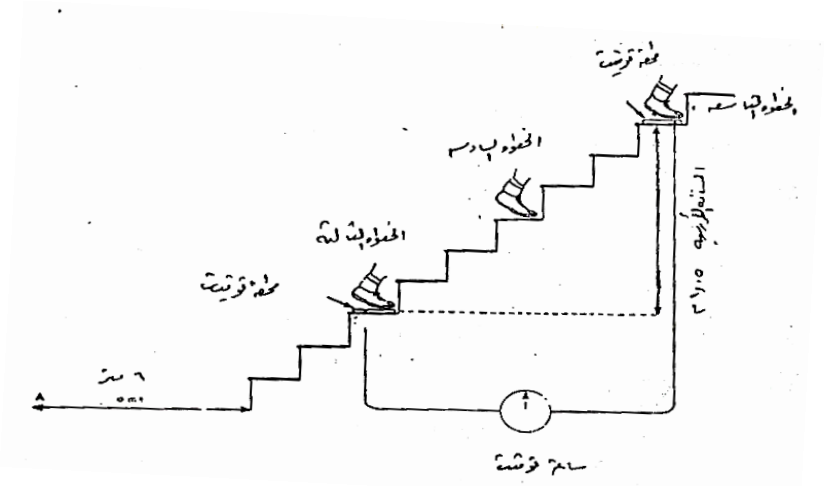
إن من الضروري جداً قياس القدرة كمؤشر للياقة البدنية للرياضي، فمن الطرائق أو الاختبارات المستخدمة في هذا المجال هو اختبار (مار غاراي - كالأمن) حيث وضع أسس الاختبار العالم (مار غاراي) ولكن تم تطويره من قبل العالم (كالأمن) وبذلك سمي باسميهما .

❀ توصيف الاختبار :

يتلخص أداء هذا الاختبار بأن يقف الرياضي على بعد ستة أمتار أمام عتبة السلم كما هو موضح بالشكل التالي .

لبدء الاختبار يركض الرياضي أسرع ما يمكن ويأخذ ثلاث خطوات ليسجل له الزمن ، حيث يبدأ تسجيل الزمن من درجة السلم الثالثة (بربط مؤقت) حتى درجة السلم التاسعة .

تبدأ عملية التوقيت عندما تطأ قدم الرياضي درجة السلم الثالثة وتتوقف عند درجة السلم التاسعة ، يتم تسجيل الزمن إلى 0.01 من الثانية . إن الإزاحة الرأسية للرياضي يمكن حسابها من خلال ارتفاع كل خطوة مضروباً بعدد الخطوات إن معدل ارتفاع كل درجة أوكل خطوة حوالي 174 ملم ولما كان هناك ست خطوات فإن مقدار الإزاحة الرأسية هي (1.044 متر) .



إن المعيرين الاساسين في هذا الاختبار هما :

١- وزن الرياضي ، ٢- الزمن المسجل.

ولتطبيق هذا الاختبار نأخذ المثال التالي :

رياضي يزن 980 نيوتن والزمن الذي استغرقه لأداء الاختبار (0.5) ثانية فإن قدرة الرياضي :

معدل القدرة = 980 × 1.044 / 0.5 = 2046.24 وات .

❖ القدرة في المجال الرياضي :

ينجز الشغل عندما يقطع الجسم إزاحة معينة بفعل تأثير قوة ولا يتم الشغل ألا بوجود إزاحة، فعند عدو 100 متر باتجاه خط النهاية وبقوة معينة ينجز العداء شغلاً ، ويطلق علية شغل القوة الذي هو حاصل ضرب متجهتي الإزاحة والقوة . لذا فان الشغل سواء كان قد أنجز في ثانية أو ثانيتين أو ساعة هو الشغل نفسه من حيث الكمية ، لكن في المجال الرياضي فإن للزمن تأثيره مهم في أداء مرحلة النهوض أو العدو أو السباحة لمسافة معينة ، ويعد الزمن هدفاً رئيسياً لكافة فعاليات 100م ، 200 م ، 110م حواجز ، 400 م ...الخ .

مما سبق نجد أن الإنجاز في المجال الرياضي يتم في اقصر زمن ممكن وبقوة واتجاه معين (بإزاحة) ونعبر عنها ميكانيكيا بالقدرة التي تقاس بالوات .

$$\text{القوة} = \frac{\text{الشغل}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{القوة} \times \text{الإزاحة}}{\text{الزمن}}$$

∴ القدرة = القوة × السرعة

مثـــــال (١) :

احسب مقدار القدرة لرباع وزنه 200 نيوتن حاول رفع ثقل بوزن 200 نيوتن إلى ارتفاع متر بزمن واحدة بينما أخر رفعه إلى متر ونصف .

❀ الحـــــل :

$$\text{الأول} = \frac{200}{1} = 200 \text{ وات}$$

$$\text{الثاني} = \frac{200}{1.5} = 133.3 \text{ وات}$$

∴ الأول اكبر قدرة من الثاني .

مثـــــال (٢) :

استخدم رامي قوة 150 نيوتن لرمي ثقل بسرعة 6 م/ث، ورامي آخر استخدم قوة 100 نيوتن بسرعة 9 م/ث ، ما مقدار قدرة كل منهما ؟

❀ الحـــــل :

الأول = 150 × 6 = 900 وات

الثاني = 100 × ٩ = 900 وات

مثـــــال (٣) :

رياضي وزنه 980 نيوتن أدى اختبار لمسافة 1.044 متر بزمن 0.5 ث ، ما مقدار قدرته ؟

❀ الحـــــل :

$$\text{القدرة} = \frac{980 \times 1.044}{0.5} = 2046.24 \text{ وات}$$

❖ ثالثاً : الطـــــاقة :

عندما نقول عن شخص ما انه يملك طاقة هائلة نعني بذلك انه يمكن أن يقوم بأعمال كثيرة لو أراد .لكن بالمفهوم العلمي تعني : القدرة على إنجاز الشغل أي أن الطاقة هي في الواقع شغل لم يخرج إلى حيز التنفيذ أو شغل مخزن .

الطاقة هي المقدرة على القيام بعمل ما. وهناك صور عديدة للطاقة، يتمثل أهمها في الطاقة الحرارة والطاقة الضوء. والصوت أيضا عبارة عن طاقة. وهناك" الطاقة الميكانيكية" التي تولدها الآلات، و"الطاقة الكيميائية" التي تتحرر عند حدوث تغيرات كيميائية.

وكمية الطاقة الموجودة في العالم ثابتة على الدوام، فالطاقة لا تفنى ولا تستحدث، وإنما تتحول من شكل إلى آخر. وعندما يبدو أن الطاقة قد استنفذت، فإنها في حقيقة الأمر تكون قد تحولت إلى صورة أخرى لهذا نجد أن الطاقة هي قدرة المادة للقيام بالشغل (الحركة) كنتيجة لحركتها أو وضعها بالنسبة للقوة التي تعمل عليها .

فالطاقة التي يصاحبها حركة يطلق عليها طاقة حركية . والطاقة التي لها صلة بالوضع يطلق عليها طاقة كامنة (جهديه أو مخزنة) فالبندول المتأرجح به طاقة جهديه في نقاطه النهائية . وفي كل أوضاعه النهائية له طاقة حركية وطاقة جهديه في أوضاعه المختلفة .

❖ أنواع الطاقة :

هناك عدة أنواع من الطاقة منها الحرارية والكهربائية والكيمائية والنووية والميكانيكية، وسوف يقتصر الحديث عن الطاقة الميكانيكية كونها هي التي تهمنا في المجال الرياضي وتقاس الطاقة بالجول وهي على نوعين:

١- الطاقة الكامنة (طاقة الوضع) .

٢- الطاقة الحركية .

⇔ الطاقة الكامنة :

من الممكن أن تكمن في جسم ما قدرة معينة من الشغل على أساس وضعه . أو يمكن أن نقول بأن الطاقة الكامنة هي تلك الطاقة التي يكتسبها الجسم بسبب وضعه أو حالته. وعلي سبيل المثال: عند رفع جسم من الأجسام وزنه (و) إلى ارتفاع قدره (ع) فإنه يكون من اللازم بذل شغل قدره (و×ع) ولا يذهب هذا الشغل سدى بل يكون في صورة طاقة كامنة ، ويمكن للجسم إعادة استخراج هذه الطاقة الكامنة أو الوضعية عند الاحتياج إليها، هذا ما يقوم به فعلاً عندما يلقي به الشخص من هذا الارتفاع إلى أسفل ويتساوى مقدار الطاقة الكامنة مع الشغل المطلوب بذله لرفع الجسم وفق المعادلة التالية :

$$\text{ش} = \text{و} \times \text{ع} = \text{ط ك}$$

مثـــــال :

سباح قفز إلى الماء وكان وزنه عند نهاية الطيران 600 نيوتن وكان مركز ثقله على الارتفاع 3 م عن سطح الماء . أحسب طاقته الكامنة ؟

الطاقة الكامنة = الوزن × الارتفاع = 600 × 3 = 1800 جول .

⇔ الطاقة الحركية :

وهي الطاقة التي يحتويها الجسم بسبب حركته، فالجسم الذي يتحرك حركة انتقالية بخطوط وسرعات وتعجيل متساوية يمتلك طاقة حركية انتقالية، وكذلك الجسم الذي يتحرك حركة زاوية بزوايا وسرعات وتعجيل متساوي يمتلك طاقة حركية زاوية ويمكن حساب الطاقة الحركية الانتقالية وفقا للقانون التالي :

$$\text{الطاقة الحركية الانتقالية} = \frac{1}{2} \times \text{الكتلة} \times (\text{السرعة})^2$$

المثـــــال الأول :

فالرياضي الذي كتلته على سبيل المثال مقدارها (100 كغم) ويركض بسرعة (9 م/ث). فما هو مقدار طاقته الحركية الانتقالية ؟

❀ الحـــــل :

$$\text{الطاقة الحركية الانتقالية} = \frac{1}{2} \times \text{الكتلة} \times (\text{السرعة})^2$$

$$\text{طح} = \frac{1}{2} \times 100 \times (9)^2 = 4050 \text{ جول}$$

المثـــــال الثاني :

استطاع رياضي أن يرمي كرة كتلتها (0.20) كغم بسرعة (9 م/ث) فما هو مقدار الطاقة الحركية التي انتقلت إلى الكرة .

❀ الحـــــل :

$$\text{الطاقة الحركية الانتقالية} = \frac{1}{2} \times \text{الكتلة} \times (\text{السرعة})^2$$

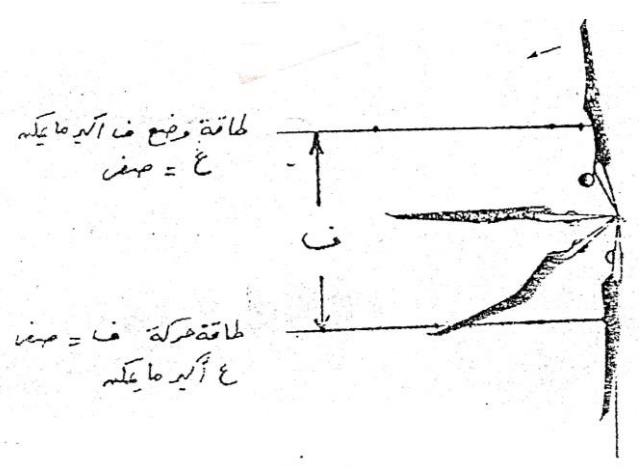
$$\text{طح} = \frac{1}{2} \times 0.20 \times (9)^2 = 8.10 \text{ جول}$$

ويمكن تحويل الطاقة الكامنة إلى طاقة حركية وبالعكس والمثال التالي للاعب الجمباز خلال أداءه الدائرة العظمى على جهاز العقلة (الشكل التالي) يوضح تحويل الطاقة الكامنة إلى طاقة حركية ونجد أن سرعة مركز ثقل جسم اللاعب في هذا المثال تكون مساوية للصفر عندما يكون في أعلى وضع له ولذلك فإنه لا توجد طاقة حركة في هذا الوضع، بينما تكون الطاقة الكامنة هنا أكبر ما يمكن لأن الارتفاع (ف) وهو بعد مركز ثقل الجسم عن الأرض يكون أكبر ما يمكن وقد تحقق هذا الارتفاع بواسطة مرجحة الجسم التي عملت على رفع مركز ثقله (و) إلى هذا الوضع. وعند نزول الجسم لأسفل إلى قاع المرجحة وهو أقل ارتفاع ممكن، تكون الطاقة الكامنة مساوية للصفر لأن المسافة (ف) تصبح عندئذ صفرا، ولكنها تتحول إلى طاقة حركة حيث تصبح سرعة الجسم عندئذ أكبر ما يمكن، وعلى ذلك نرى أن طاقة الوضع تتحول إلى طاقة حركة، وفي حالة التحول الكامل للطاقة يمكن أن تكون معادلة الطاقة كما يلي :

الطاقة الكامنة + الطاقة الحركية = مقدار ثابت .

ولكن في مثل هذه الحالة السابقة لا شك أن جزء من طاقة الوضع (الكامنة) يتحول إلى طاقة حرارية يحس بها اللاعب عندما يمسك عارضة العقلة ولذلك تكون المعادلة كما يلي :

الطاقة الكامنة + الطاقة الحركية + الطاقة الحرارية = مقدار ثابت



شكل الطاقة الكامنة والطاقة الحركية خلال الدائرة العظمى على جهاز العقلة

المراجع

- أولاً : المراجع العربية.
- ثانياً : المراجع الأجنبية.
- ثالثاً : المراجع من شبكة المعلومات.

أولاً : المراجع العربية :-

١. أحمد بدر الدين خليل، عبد الشافي فهمي عبادة: "أسس علم الميكانيكا" دار الفكر العربي، القاهرة ٢٠٠١م.

٢. أحمد تأمر محسن، دراسة مقارنة لمعدل طول الضربة وتكرارها بين أبطال العراق وأبطال العالم في سباحة ٥٠ متر حرة: رسالة ماجستير، جامعة بغداد، كلية التربية الرياضية، ١٩٩٤م.

٣. أحمد صلاح قراعه، طارق فاروق عبد الصمد : علم الحركة، هابي لايت للطباعة، أسيوط، ٢٠٠٥م.

٤. أحمد كامل حسين محمد : دراسة زوايا أجزاء الجسم وعلاقتها ببعض متغيرات انطلاق الكرة في التصويب من القفز لكرة السلة ، رسالة ماجستير ، كلية التربية الرياضية للبنيين ، جامعة حلوان ، القاهرة ، ١٩٨٤م.

٥. أحمد كسري معاني – حمدي عبد المنعم احمد : دراسة تحليلية لمهارتي الأعداد والضرب الساحق وأثراهما على نتائج المباريات، المؤتمر الدولي للشباب والرياضة، كلية التربية الرياضية، جامعة حلوان، القاهرة، ١٩٨٥ م .

٦. بسطويسي احمد بسطويسي : أسس ونظرية الحركة، ط١، دار الفكر العربي، القاهرة، ١٩٩٦م .

٧. بهاء الدين إبراهيم سلامة : التمثيل الحيوي للطاقة في المجال الرياضي، مصر، دار الفكر العربي، ١٩٩٩م.

٨. جبرد هوخموت : الميكانيكا الحيوية وطرق البحث العلمي للحركة الرياضية، ترجمة كمال عبد الحميد، مراجعة سليمان علي حسن، ط ٣، دار المعارف، القاهرة، ١٩٧٨ م.

٩. حامد أحمد عبد الخالق : تحديد الخواص الديناميكية لبعض حركات الجمباز ـ مراحل تعلمها واستخدامها كمعيار للأداء، رسالة دكتوراه، كلية التربية الرياضية بالهرم، جامعة حلوان، ١٩٨٢م.

١٠. حمد كامل حسين محمد : دراسة زوايا أجزاء الجسم وعلاقتها ببعض متغيرات انطلاق الكرة في التصويب من القفز لكرة السلة، رسالة ماجستير، كلية التربية الرياضية للبنيين، جامعة حلوان، القاهرة، ١٩٨٤م.

١١. خيرية إبراهيم، و آخرون : إدارة تدريب الجهاز الحركي لجسم الإنسان، منشاة المعارف، الإسكندرية، ٢٠٠٤ م .

١٢.ريسان خريبط مجيد، نجاح مهدي شلش، التحليل الحركي ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة البصرة، كلية التربية الرياضية، ١٩٩٢م.

١٣.س . تأرج : الميكانيكا النظرية، ترجمة احمد عمر الفرماوي، دار ميرا للطباعة والنشر، موسكو، ١٩٧٣ م.

١٤.سامي عبد الفتاح : محاضرات طلبة الماجستير للعام الدراسي ١٩٩٧-١٩٩٨م.

١٥.سمير مسلط الهاشمي : البيوميكانيك في المجال الرياضي ، دار الحكمة، بغداد، ١٩٨٠م.

١٦.سمير مسلط الهاشمي : الميكانيكا الحيوية، مطابع دار الحكمة للطباعة والنشر، بغداد، ١٩٩٢م.

١٧.سمير مسلط الهاشمي، البايوميكانيك الرياضي، الطبعة الثانية، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، بغداد، ١٩٩٩م.

١٨.سمير مسلط الهاشمي، البايوميكانيك الرياضي، الموصل، دار الكتب للطباعة والنشر، ١٩٨٩م.

١٩.سمير مسلط الهاشمي، الميكانيكا الحيوية ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، بغداد، ١٩٩١م.

٢٠.سوسن عبد المنعم وآخرون : البيوميكانيك في المجال الرياضي، دار المعارف، القاهرة، ١٩٧٧ م.

٢١.السيد عبد المقصود : نظريات الحركة، مطبعة الشباب الحر، القاهرة، ١٩٨٦م.

٢٢.شريف محمد عبد القادر : الخصائص الكينماتيكية لزوايا الرجل الضاربة كصياغة تطبيقية لتعليم مهارة الرفسة الأمامية في الكاراتيه، رسالة ماجستير، كلية التربية الرياضية، جامعة المنيا، ١٩٨٥م .

٢٣.شفيق عبد الملك : مبادئ على التشريح ووظائف الأعضاء، دار الفكر العربي.

٢٤.طارق صلاح السيد : الخصائص الكينماتيكية لمهارة التصويب بالطيران في كرة اليد، رسالة ماجستير، كلية التربية الرياضية، جامعة أسيوط، ٢٠٠١م.

٢٥.طارق فاروق عبد الصمد : الخصائص الكينماتيكية وعلاقتها بمستوى أداء الرفسة الجانبية في رياضة الكاراتيه، رسالة ماجستير، كلية التربية الرياضية، جامعة أسيوط، ١٩٩٧م.

٢٦.طارق فاروق عبد الصمد : نظريات الخصائص الأساسية، مطبعة جامعة أسيوط، ٢٠٠٥م.

٢٧.طارق فاروق عبد الصمد : نظرية الخصائص الأساسية ـ رؤية لتحليل المهارات الرياضية ، الجزء الأول ، ٢٠٠٥م .

٢٨.طلحة حسام الدين وآخرون : الموسوعة العلمية في التدريب ، ط١، مصر، القاهرة، مركز الكتاب للنشر، ١٩٩٧م.

٢٩.طلحة حسين حسام الدين : المحكات النظرية للأداء المهاري في جمباز الناشئين كوسيلة تعليمية، مجلة علوم الرياضة، كلية التربية الرياضية جامعة المنيا، ١٩٨٨م.

٣٠.طلحة حسين حاسم الدين ، مصطفي كامل أحمد ، سعيد عبد الرشيد : مذكرة في مبادئ الميكانيكا الحيوية وعلم الحركة التطبيقي، مركز الكتاب للنشر، القاهرة، ط١، ١٩٩٧م.

٣١.طلحة حسين حسام الدين : الميكانيكا الحيوية والأسس النظرية والتطبيقية، دار الفكر العربي، القاهرة، ١٩٩٣ م.

٣٢.طلحة حسين حسام الدين : مبادئ التشخيص العلمي للحركة، ط ١، دار الفكر العربي، القاهرة، ١٩٩٤ م.

٣٣.طلحة حسين حسام الدين: الأسس الحركية والوظيفية للتدريب الرياضي، دار الفكر العربي، القاهرة، ١٩٩٤م.

٣٤.طلحة حسين حسام الدين، وفاء صلاح الدين، مصطفي كامل أحمد، سعيد عبد الرشيد : الموسوعة العلمية في التدريب الرياضي"، مركز الكتاب للنشر، القاهرة، ط١، ١٩٩٧م.

٣٥.طلحة حسين حسام الدين، وفاء صلاح الدين، مصطفي كامل أحمد، سعيد عبد الرشيد : علم الحركة التطبيقي، ج١، مركز الكتاب والنشر، القاهرة، ط١، ١٩٩٨م.

٣٦.عادل عبد البصير : الميكانيكا الحيوية والتكامل بين النظرية والتطبيق في المجال الرياضي، ط٢، مركز الكتاب للنشر، ١٩٩٨م.

٣٧.عادل عبد البصير : الميكانيكا الحيوية التطبيقية، القاهرة، دار الفكر العربي، ١٩٩٨م.

٣٨.عـارف صـالح محسـن الكرمـدي: الخصـائص الكينماتيكيـة للضـرب السـاحق السريع كدالة لتدريب لاعبـي الكـرة الطـائرة، رسـالة ماجسـتير فـي التربيـة الرياضية، كلية التربية الرياضية، جامعة أسيوط، ٢٠٠٥م.

٣٩.عـارف صـالح محسـن الكرمـدي: تـأثير برنـامج تـدريبي باسـتخدام التـدريب الباليومتريـك علـى تنميـة بعـض المتغيـرات البدنيـة والكينماتيكيـة وتحسـين مسـتوى أداء الضـرب السـاحق السـريع للاعبـي الكـرة الطـائرة بالجمهوريـة اليمنية، رسالة دكتوراه في التربية الرياضية، كليـة التربيـة الرياضـية، جامعـة أسيوط، ٢٠٠٨م.

٤٠.عصام الدين متولي : التحليل الكينماتيكي لطـرق أداء المهـارات المسـتأنفة في سلاح الشيش، رسالة دكتـوراه، كليـة التربيـة الرياضـية للبنـات بـالهرم، جامعة حلوان، ١٩٩١م.

٤١.علي سلام علي، ومحمد احمد محمـد الحفنـاوي: تـأثير اسـتخدام تـدريبات الباليومتريك على تطوير مسار الطيران للضرب السـاحق فـي الكـرة الطـائرة، مجلة أسيوط لعلوم وفنون التربية الرياضـية، العـدد العاشـر، جامعـة أسـيوط، ٢٠٠٠م.

٤٢.على محمد عبد الرحمن، طلحة حسين حسام الدين: "فسيولوجيا الرياضـة وأسس التحليل الحركي"، دار الفكر العربي، القاهرة، ١٩٩٥م.

٤٣.عـويس الجبـالي : التـدريب الرياضـي- النظريـة والتطبيـق ، ط١، دار GMS للطباعة والنشر والتوزيع والإعلان، ٢٠٠٠م.

٤٤.فؤاد توفيق السامرائي : البايوميكانيك، بغداد، مطبعة جامعة بغداد، ١٩٨٨م.

٤٥.قاسم حسن حسين – إيمان شـاكر محمـود : مبـادئ الأسـس الميكانيكيـة للحركة الرياضية، ط١، دار الفكر للطباعة والنشر والتوزيع، عمان، ١٩٩٨م.

٤٦.قاسـم حسـن حسـين، نـزار الطالـب : الأسـس النظريـة والميكانيكيـة فـي تدريب الفعاليات العشرية للرجال والسـباعية للنسـاء، الموصـل، دار الكتـب للطباعة والنشر، ١٩٨٧م.

٤٧.كامل عبد المجيد قنصوه – سمير لطفي السيد : التغيرات الكمية للخصائص البيوميكانيكية خـلال مراحـل الارتقـاء لمهـارتي الإرسـال السـاحق و الضـرب الساحق في الكرة الطائرة، المجلة العلميـة لعلـوم وفنـون التربيـة الرياضـية، العدد الثالث، الجزء الثاني، ١٩٩٣م.

٤٨.كايتون وهول : المرجع في الفسيولوجيا الطبية ، (ترجمـة صـادق الهلالـي)، بيروت، لبنان، دار أكاديميا انترناشونال، ١٩٩٧م.

٤٩.كمال عبد الحميد، سليمان علي حسن: "الميكانيكا وطرق البحث العلمي للحركات الرياضية"، دار المعارف، القاهرة، ١٩٧٨م.

٥٠.كورت مانيل K. mine : علم الحركة، ترجمة عبده علي ناصف، مؤسسة العامة للصحافة والطباعة، بغداد، ١٩٧٠م.

٥١.لؤي الصميدعي : البايوميكانيك والرياضة، جامعة الموصل، دار الكتب للطباعة والنشر، ١٩٨٧م.

٥٢.ليف ليفنسون : الميكانيكا التطبيقية، دار ميرا للطباعة والنشر، موسكو ، ١٩٦٨م.

٥٣.محمد احمد محمد الحفناوي : الخصائص الكينماتيكية للإرسال الساحق الكرة الطائرة، رسالة ماجستير، كلية التربية الرياضية، جامعة الزقازيق، ١٩٨٦م.

٥٤.محمد احمد محمد الحفناوي : تحديد الخصائص الديناميكية للضرب الساحق من بعض المراكز في الكرة الطائرة، رسالة دكتوراه، كلية التربية الرياضية للبنيين، جامعة حلوان، ١٩٩١م.

٥٥.محمد احمد محمد الحفناوي : تحديد الخصائص الكينماتيكية لمهارة الدفاع الغاطس عن الملعب بالطيران في الكرة الطائرة، المؤتمر العلمي الأول، كلية التربية الرياضية، جامعة أسيوط، ١٩٩٤م.

٥٦.محمد احمد محمد الحفناوي : دراسة تحليلية لفاعلية الضربات الساحقة الهجومية وعلاقتها بمراكز اللاعبين الكرة الطائرة، مجلة أسيوط لعلوم وفنون التربية الرياضية، العدد الخامس، الجزء الأول، ١٩٩٥م.

٥٧.محمد جابر بريقع، خيرية إبراهيم السكري : المبادئ الأساسية للميكانيكا الحيوية في المجال الرياضي، منشأة المعارف، الإسكندرية، ٢٠٠٢م.

٥٨.محمد حسن علاوي – نصر الدين رضوان : اختبارات الأداء الحركي، ط١، دار الفكر العربي، ١٩٨٢م.

٥٩.محمد زياد حمدان : البحث العلمي كنظام، عمان، دار التربية الحديثة، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، بغداد، ١٩٩٠م.

٦٠.محمد عادل رشدي، محمد جابر بريقع : ميكانيكية إصابة العمود الفقري، منشأة المعارف، الإسكندرية، ١٩٩٧م.

٦١.محمد عبد الغني عثمان : التعلم الحركي والتدريب الرياضي، الطبعة الثانية، دار القلم للنشر والتوزيع، الكويت، ١٩٩٤م.

٦٢.محمد محمد عبد العزيز احمد: المحددات البيوميكانيكية كدالة لوضع برنامج تدريبي لمهارات مجموعة الكب على جهاز العقلة، رسالة دكتوراه، كلية التربية الرياضية، جامعة أسيوط، ٢٠٠٠م.

٦٣.محمد يوسف الشيخ : الميكانيكا الحيوية وتطبيقاتها، دار المعارف، القاهرة، ١٩٨٢م.

٦٤.محمود فتحي محمود : بعض العوامل البيوميكانيكية لمراحل الارتكاز في الوثب الثلاثي، رسالة دكتوراه، كلية التربية الرياضية، جامعة حلوان، القاهرة، ١٩٨١م.

٦٥.نبيلة عبد الرحمن ، سلوى فكري : منظومة التدريب الرياضي "فلسفة – تعليمية – نفسية – فسيولوجية – بيومكانيكية – إدارية" ، دار الفكر العربي ، القاهرة ، ٢٠٠٤م.

٦٦.هبة لطفي أبو العطا : التحليل الكينماتيكي لمهارة التصويب بالوثب في كرة اليد، رسالة ماجستير، كلية التربية الرياضية، جامعة المنيا، ٢٠٠٠م.

٦٧.وجيه محجوب : التحليل الحركي، جامعة بغداد، ١٩٨٢م.

٦٨.وجيه محجوب : التحليل الحركي، بغداد، مطبعة التعليم العالي والبحث العلمي، ١٩٨٧م.

ثانياً : المراجع الأجنبية :-

69. Dirix etal: The Olympic Book of Sport Medicine, Volume 1, Black Well Scientific Publications, W.Germany, 1988.

70. A.B.Aberneth and others; The biophysical foundation of human movement:(USA,human kinetics publishers,1997).

71. A.Dirix etal: The Olympic Book of Sport Medicine, Volume 1, Black Well Scientific Publications, W.Germany, 1988.

72. Abdelmalek, E.H., Anderson, L., Bottcher, G., Gambetta, V., Jones, M., McGill, K., Paish, W., Tancred, B., Taylor, P. and Wirth, A. (1994). NSA Round Table - Discus. New Studies in Athletics, 9(3), 17-40.

73. Agachi, T., Bakarynov, Y, Barclay, L., Guerin, G., Rubanko, B., Staerck, A, Sykhonosov, S.I. and Szabo, E. (1997). NSA Round Table - Hammer Throw. New Studies in Athletics, 12(2-3), 13-27.

74. Andrei R.Vorontsov ; swimming speed stroke rate and stroke length during maximal 100m freestyle swimming boy swimmers 11-16 years of age: (Russian state academy of physical education-Moscow, Journal of biomechanics and medicine in swimming, IX , 2006)

75. Arbeit, E., Borgstrom, A., Johnson, C. and Sedykh, Y. (1996). NSA Round Table - The role of speed in the throws. New Studies in Athletics, 11(1), 11-16.

76. Aura, O. and Viitasalo, J.T. (1989). Biomechanical characteristics of jumping. International Journal of Sports Biomechanics, 5, 89-98.

77. Baker , D. (1996). Improving vertical jump performance through general, special, and specific strength training: A brief review. Journal of Strength and Conditioning Research, 10, 131-136.

78. Bartoneitz, K. and Borgstrom, A. (1995). The throwing events at the World Championships in Athletics 1995, Goteborg - Technique of the world's best athletes Part 1: Shot put and hammer throw. New Studies in Athletics, 10(4), 43-63.

79. Bartoneitz, K., Best , R. and Borgstrom, A. (1996). The throwing events at the World Championships in Athletics 1995, Goteborg - Technique of the world's best athletes Part 2: Discus and javelin throw. New Studies in Athletics, 11(1), 19-44.

80. Bedi. J. F , Increase in Jumping Height Associated With Maximal Effort Verical Depth Jumes . Res Quart , For Exert , spore , Reston , vol . 58 , No. I, 1987 .

81. Bianco, E., Lease, D., Locatelli, E., Muraki, E., Pfaff, D., Shuravetsky, E. and Velez, M. (1996). NSA Round Table - Speed in the jumping events. New Studies in Athletics, 11(2-3), 9-19.

82. Bobbert, M.F., Huijing, P.A. and van ingen Schenau, G.J. (1987a). Drop jumping I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. Medicine and Science in Sports and Exercise, 19, 332-338.

83. Bobbert, M.F., Huijing, P.A. and van ingen Schenau, G.J. (1987b). Drop jumping II: The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. Medicine and Science in Sports and Exercise, 19, 339-346.

84. Canavan, P.K., Garrett, G.E. and Armstrong, L.E. (1996). Kinematic and kinetic relationships between an olympic style lift and the vertical jump. Journal of Strength and Conditioning Research, 10, 127-130.

85. Chandrasekhar ،Subrahmanyan (2003). Newton's Principia for the common reader. Oxford: Oxford University Press. (pp.1–2). The quotation comes from a memorandum thought to have been written about 1714

86. CHARLES SIMONIAN : Fundamental Of Sport Biomechanics, New Jersey, Prentice Hall, 1981.

87. Clauser , Charles E., Mc Cornville, John T., and Young , J.W. : Weight Volume and Center of Mass of Segment of the Human Body , AMRI . Technical Report . Wright Patterson Air Force Base Ohio , 1969 .

88. Cooper J . M . Glasgow . R . B : Kinesiology , Ɛth . E . D . Louise .V. M. Mosley com , U. S. A., 1976 .

89. Darlene . A. Kluka & Petec. J. Dunn : volley ball , 4 th edition , Mc Grow Hill , U. S. A. , 2000 .

90. Deboah A.Wuest and Charles A.bucher; foundations of physical education, exercise science, and sport, (fifteen edition, newyork, American,2006.

91. Dick Hannula and North Thornton; the swim coaching Bible : (USA,human kinetics publisher,2003).

92. Donis I . Miller and Richard G . Nelson , Biomechanincs of sport, 1995,p312.

93. Doris . L . Miller & Richard . C. Nelson : Biomechanics of Sports , .A, Research Approach , Philadelphia , IEA , Regular , 1973 .

94. Duane V. Knudson : Qualitative analysis of human move mahatma, Kinetic, USA, New York, 1997.

95. Dyson, G. : The Mechanics of Athletics , London Press Ltd., 1970.

96. E . Asmussen : Movement of Man and Study of Man in Motion" Axing Review of the Development on Biomechanics , Volumes IA university Park Press . Baltimore . 1976 .

97. Egger, J-P., Kuhl, L., Paprawski, B., Taylor, P., Wirth, A., Etcheverry, S.G. and Lopez, V. (1994). NSA Round Table - Shot Put. New Studies in Athletics, 9(1), 19-37.

98. Ellen Kreighbaum, Katherin, M. Barthels: Biomechanics, a qualitative approach for studying Human Movement, Burgen Publishing Co., U. S. A, 1981.

99. G. F. Bruggemann and others. Biomechanial Research Project Meyer and Meyer sport .1997.

100. G. P. Bruggemann and others, Biomechanical Research Project, Meyer and Meyer sport, Athens, 1997, P. 197.

101. George A.Brooks, Thomas D.Fahey: Exercise Physiology, Macmillan Publishing.Co, USA, 1985.

102. Gerry Carr; Mechanics of sport : (USA,human kinetics publishers,1999).

103. Giscomo Mule : Biokinematic Model of Impact In the Sports, I. S. E. F. of Palermo And University of Palermo, Italy, 1994 .

104. Gros, H.J. and Kunkel, V. (1990). Biomechnical analysis of the pole vault. In, Scientific Research Project at the Games of the XXIVth Olympiad - Seoul 1988. G.P. Bruggeman and B. Glad (Eds). pp 219-260. International Athletic Federation: Monaco.

105. Hall. Susan. Basic Biomechamic Mosby -Year book st. Louis .1995.

106. Hara D. , Training slather sport varlet , Bare in , 1973 .

107. Jacobs, R., Bobbert, M.F. and van ingen Schenau, G.J. (1996). Mechanical output from individual muscles during explosive leg extensions: The role of biarticulate muscles. Journal of Biomechanics, 29, 513-523.

108. James . G. Hay : The Biomechanics of Sports , Teaching use ,2 Ed , Prentice Hall , Englewood Cliff , S. N. J. ,1978 .

109. James E.Counsilman; Hand acceleration patterns in swimming stroke: (Indiana, Indiana university,1984

110. James G. Hay: The Biomechanics of Sports Teaching use, Printic Hall Inc. Engle Wood Cliffs. U. S. A. 1978.

111. James G.Hay ;The biomecamecanic of sport technique, (fourth edition :(New jersy engelwood cliffis ,1993)

112. Jam jams G.Hay;The biomechanics of sports technique, fourth edition: New Jersey Englewood cliffs ,1993).

113. Jana Buman : Scientific Principles of Coaching , New York , Print ice Hall , Enc , 1955 .

114. Jensen، R. C.،& Schultz، C.W.،(1977): Applied kinesiology the scientific study of human performance، 2nd edition، Mc Grow. Hill books Co، New Yor.

115. Jhon W . and (et al). Determining the Force- Length- Velocity Relations of the Quadriceps Muscles: Anatomical and Geomtric Parameters. Jounal of Applied Biomecnics ,1999,15,182- 190

116. Kathryn . L. Katharine . F. Wells : Kinesiology Scientific Basis of Human Motion , 6 th .Ed . W. B. Saunders Company , Philadelphia , London , Toronto , 1976 .

117. Klaus Pfeifer: W. Banzer, M. Bernhardt, D. Neumann, Application of Functional Dynamic Test In the Late Postoperateve Phase After ACL- Surgery for the Evaluation of Kinenatic and Neuromuscular Parameters, Institute for Sports ciences Dep. Of Prevention and Rehabilitation, G. W. Goethe- university Frankfurt, Germany, 1994.

118. Le Veav: Biomechanics of human motion, W. B. Saunders Company, Philadelphea, 1993.

119. Leighton .T. N. : An Instrument and Technique For the Measurement of Range of Joint Motion , ARCR , 1955 .

120. McGinnis, P.M. (1989). Pete's pointers for perfect pole vaulting. Track Technique, 109, 3472-3474.

121. P. E. Allyson and William Ruff near : Relationship between the Type of pass and Loss of the Ball in Basketball , Athletic Journal , XLIX , 1969 .

122. Perttunen, J., Kyrolainen, H., Komi, P.V. and Heinonen, A. (2000). Biomechanical loading in the triple jump. Journal of Sports Sciences, 18, 363-370.

123. R. S. Khurmi : Applied Mechanics , 3 rd . Ram Nagger , New Delhi , Scand to " PUT " Late . 1978 .

124. Richard Nelson and others; An analysis of Olympic swimming in the 1988 summer game: (Pennsylvania state university, 1988)

125. Santos,S and Riechle,H ; Relationship among anthropometric characteristics stroke frequency and stroke length in 100 m freestyle swimming: (USA, swimming official journal, 2002)

126. Scott K. Powers, Edward T. Howley: Exercise Physiology, 4th edition, McGraw-Hill Companies, Inc-New York, USA, 2001.

127. SPSS Inc. SPSS x User's Guide . McGraw- Hill Inc., New York, 1996.

128. Stefanyshyn, D.J. and Nigg, B.M. (1998). Contribution of the lower extremity joints to mechanical energy in running vertical jumps and running long jumps. Journal of Sports Sciences, 16, 177-186.

129. Susan J. Hall: Basic Biomechnics, 2ed edition, USA, Mc Graw-Hill Companies, Ine, 1995.

130. Tschiene, P. (1988). The throwing events: Recent trends in technique and training. New Studies in Athletics, 1, 7-17.

131. van Soest, A.J., Roebroeck, M.E., Bobbert, M.F., Huijing, P.A. and van ingen Schenau, G.J. (1985). A comparison of one-legged and two-legged countermovement jumps. Medicine and Science in Sports and Exercise, 17, 635-639.

132. Wolf Parish: Discus throwing, British Amateur Athletic Board. London, SW3,98 IEE, 1976.

133. Young, W. (1995). Specificity of strength development for improving the take-off ability in jumping events. Modern Athlete and Coach, 33, 3-8

ثالثاً : المراجع من شبكة المعلومات :-

134. http://ar.wikipedia.org/wiki

135. http://asb-biomech.org/

136. http://ergo.human.cornell.edu/

137. http://hfes.org/

138. http://human-factors.arc.nasa.gov/

139. http://library.geneseo.edu/~liles/Stuplag1.htm

140. http://phys215.netfirms.com/chapter2/sitecontent.htm

141. http://scout.cs.wisc.edu/

142. http://www.aahperd.org/aaalf/template.cfm

143. http://www.aakpe.org/

144. http://www.aapmr.org/

145. http://www.acrm.org/

146. http://www.akta.org/

147. http://www.apastyle.org

148. http://www.apta.org

149. http://www.asmi.org/

150. http://www.baddesigns.com/index.shtml

151. http://www.badnia.net/vb/showthread.php?p=256457

152. http://www.css.edu/asep/

153. http://www.csuchico.edu/~jackieh/teachold.html#anchor170387

154. http://www.ericfacility.net/ericdigests/ed406361.html

155. http://www.hayatnafs.com/monaٍ٢at_fi_alnafs/sportpsychology.htm

156. http://www.hazemsakeek.8m.com/physics_courses/gp1/gp1%20lec tures.htm.

157. http://www.howstuffworks.com/

158. http://www.icakusa.com

159. http://www.iea.cc/

160. http://www.isbweb.org/

161. http://www.per.ualberta.ca/biomechanics/

162. http://www.resna.org/

163. http://www.sandia.gov/cog.systems/

164. http://www.sportsmedicine.com/

165. http://www.the-aps.org/

166. http://www.ucalgary.ca/programinfo/Kinesiology/Biomechanics.html#WhatIs

167. http://www.upassoc.org/

168. www. phytanja. on. Ma

169. www.hazemsakeek.8m.com

170. www.hazemsakeek.com

171. www.iraqacad.org

172. www.rata.org.com- /Hamden. S.T. Effects of *polymeric* training on muscle-activation strategies and performance in female athletes،2004.