الفصل الثانى

المصطلحات والقياسات المستخدمة فى الميكانيكا الحيوية:

إن علم الحركة يعتبر من العلوم التى اهتمت بدراسة الحركة من وجهة نظر التركيب الهيكلى والعمل العضلى، هذا بالإضافة إلى المبادىء والأسس الميكانيكية التى ترتبط بحركة الجسم البشرى، ودراسة الحركة التى يقوم بها الجسم البشرى تتطلب دقة التحليل لكل من العمل العضلى المصاحب للحركة من خلال معرفة ما يحدث خلال الحركة بالإضافة إلى ما يمكن أن يحكم هذه الحركة من قوانين ومبادىء، حتى يتم التعرف على كيف ولماذا تحدث هذه الحركة على النحو الذى تتم به.

وهذه المعلومات مجتمعة تساعد فى خلق القاعدة المتكاملة من المعلومات التى يتم الانطلاق منها فى اتخاذ القرارات المناسبة لتحقيق أعلى درجات الفعالية والكفاءة بالنسبة لأداء مثل هذه الحركات.

فالحصول على إجابات وافية على الأعداد الكبيرة من الأسئلة التى يمكن أن تطرح نفسها حول الأداء الحركى بصفة عامة، وأفضل الطرق التى يمكن اتباعها فى هذا الأداء سواء كان لمهارات رياضية أو لحركات أولية طبيعية نستخدمها فى حياتنا اليومية تجعل من السهل تحديد واختيار الطرق المناسبة التى تتوافر بها أقصى درجات الفعالية بأقل قدر من المجهود المبذول.

فالتمييز بين العوامل المساعدة والعوامل المعيقة فى نجاح أى أداء حركى، لا يتأتى إلا من خلال المعرفة الدقيقة لكافة المعلومات المحيطة بهذا الأداء. ولعل تعاظم هذه القدرة على التمييز يظهر فى تناول الأداء الحركى المتميز والذى يفرق بين الأفراد فى المجال الرياضى.

الميكانيكا:

عندما يكون مجال الاهتمام مركزاً على القوة والحركة، فإن العلم الذى يرتبط بالإجابة على عدة تساؤلات من أهمها ماذا يحدث؟ ولماذا يحدث وإلى

أى مدى يمكن أن يحدث؟ هو علم الميكانيكا. وهو فرع من علم الفيزياء، يختص بتأثيرات القوى على الأجسام والحركات الناتجة عن هذه القوى. فالميكانيكا هى مجال دراسة القوى وتأثيراتها على الأجسام وارتباط ذلك بالزمن.

ويعتبر المهندسين من أكثر المتخصصين بدراسة الميكانيكا لارتباط هذا العلم ارتباطاً وثيقاً بطبيعة عملهم كما هو الحال فى علوم البحار والفضاء والانشاء والتشييد والاتصالات. . . الخ.

ولا يختلف الحال كثيراً بين اهتمامات هؤلاء المتخصصين واهتمامات العاملين فى دراسة حركة الجسم البشرى وتحليلها والتعرف على القوى المؤثرة فيها والناتجة عنها، فالقوانين فى كلا الحالتين واحدة لا تتغير، فالحركة بمظاهرها المختلفة سواء كانت لأجسام مادية أو لأجسام حية، هى الناتج الظاهرى لتطبيقات القوى، وبالتالى فهى مجال لتطبيق قوانين هذا العلم والتى تحكم علاقة القوه بالحركة.

الميكانيكا الحيوية:

عندما تكون دراسة الميكانيكا محددة فى مجال الأجسام والأنظمة الحية، وبصفة خاصة جسم الإنسان، فإنه يطلق عليها الميكانيكا الحيوية، وبالتالى فهى علم فرعى أو فرع من فروع تطبيقات علم الميكانيكا العام على الأجسام اختص بالأجسام الحية. وبصفة عامة، فالميكانيكا الحيوية مجال دراسة تطبيقات القوانين الأساسية التى تحكم تأثيرات القوى على حالة حركة أو ثبات الأجسام الحية، وهل المشكلات التى تتعرض لها هذه الأجسام فى حركتها أو سكونها، ولا يخلو مجال من مجالات التعامل مع الإنسان من استخدامات تطبيقات الميكانيكا الحيوية. وفى مجال الأداء الحركى الرياضى عادة ما يستخدم كل من الميكانيكا الحيوية أو علم الحركة التطبيقى كمترادفين

لمعنى واحد هو ذلك المجال من الدراسة الذى يختص بتطبيقات القوانين الأساسية للميكانيكا على حركات الجسم البشرى فى كل من التدريب والتعليم وعلاج الإصابات.

الاستاتيكا والديناميكا:

تنقسم الدراسة فى الميكانيكا الحيوية إلى قسمين رئيسيين هما الاستاتيكا والديناميكا، وتغطى الاستاتيكا الحالات التى تتعادل فيها القوى المؤثرة فى الجسم ويكون فى حالة إتزان. ومن خلال معرفة قواعد الاستاتيكا فإنه يمكن فهم عمل الروافع، وحل المشكلات الخاصة بوضع مركز ثقل الجسم ومركز الطفو. أما الديناميكا فهى تغطى الحالات التى لا تكون فيها القوى المؤثرة فى الجسم فى حالة تعادل، حيث توضح مبادىء الديناميكا الظروف التى تصاحب أى تغيير فى القوى المؤثرة ودور هذا التغيير فى التأثير على سرعة الجسم أو اتجاهه، هذا بالإضافة إلى المبادىء الخاصة بالشغل والطاقة وتسارع الجسم.

الكينماتيكا والكيناتيكا:

إن مصطلح الكينماتيكا والكيناتيكا من المفردات التى تستعمل فى دراسة الميكانيكا، فالكيناتيكا ترتبط بهندسة الحركة، فهى توصف الحركة، فى ضوء التغير الزمانى المكانى بما فى ذلك سرعة وعجلة الأجسام، فقد تحدث الحركة فى خط مستقيم أو حول محور ثابت، فالكينماتيكا تهتم بالوصف التحليلى والرياضى لأنواع الحركة، وليس بمسببات الحركة، أما الكيناتيكا فهى الجانب المعنى بالقوى المسببة أو المصاحبة للحركة. وبالتالى فهى أكثر عمقاً من الكينماتيكا، وهى تعتبر مجالاً خصباً للدراسات التى تجرى فى التربية البدنية والرياضة، وعلى غرار الكينماتيكا فإن الكيناتيكا الخطية تهتم بالحركات التى تتم فى خط مستقيم أو الحركات الانتقالية فى حين تهتم الكيناتيكا الدورانية بالحركات التى تدور فيها الأجسام حول محاور.

الكم فى الميكانيكا الحيوية:

إن دراسة حركة الجسم البشرى حالها حال أى دراسة، تعتمد على القياس الدقيق والمعادلات الرياضية لتصنيف المعلومات وتقنين المعرفة، فالحسابات الرياضية هى لغة العلم، فهى تجعلنا قادرين على حساب العلاقات بطريقة كمية، كما أنها تحدد لنا مدى أفضلية طريقة على أخرى، فى تحقيق أقصى درجات الفاعلية فى القياس وبالتالى تحقيق أعلى درجات الفائدة من القياسات التى يتم الحصول عليها. هذا بالإضافة إلى أن الحسابات الرياضية تساعد فى الاستفادة من تطبيقات القوانين العامة والإسهامات العلمية للعديد من علماء الفيزياء والعلوم الأخرى أمثال نيوتن وجاليليو وارشميدس.

ويزداد عمق الفهم للمبادىء والقوانين التى ترتبط بالحركة، من خلال التجارب المعملية التى تتيح الفرصة للتعرف على احتمالات تطبيقات هذه القوانين وبالتالى اختيار ما هو مناسب منها، ويستعان بالحسابات الرياضية فى المعالجة الكمية للبيانات.

وحدات القياس:

تنطلق جميع الوحدات المستخدمة فى الحسابات الميكانيكية من ثلاثة متغيرات أساسية هى الإزاحة والزمن والكتلة والتى تعتبر الأساس فى جميع الحسابات الميكانيكية، وهناك نظامين للواحدات هما النظام الانجليزى والنظام المترى، وكلا النظامين يستخدمان فى دراسات وبحوث الميكانيكا الحيوية، وعلاقة كلا النظامين للوحدات على درجة كبيرة من الأهمية ويوضح جدول(١) بعض هذه الوحدات فى كلا النظامين.

جدول (١)
الوحدات المستخدمة في القياس وفقاً للنظامين
الانجليزى والمترى

الوحدة	النظام المترى	النظام الانجليزى	العلاقة
الطول	سنتيمتر (cm)	البوصة (in)	١ بوصة = ٢,٥٤ سنتيمتر
	متر (m)	القدم (ft)	١ سنتيمتر = ٣٩٣٧و بوصة
	كيلومتر(km)= ١٠٠٠ متر	الميل (mi)= ٥٢٨٠ قدم	١ قدم= ٣٠٥و متر
			١ متر= ٣,٢٨ قدم
المساحة	المترالمربع (CM^2 ١٠٠)	القدم المربع (in^2 ١٤٤)	١ ميل= ١,٦٠٩ كيلومتر
الحجم	السنتيمترالمكعب(CM^2 ١٠٠)	quart (in^2 ٥٧,٧٥)	١ كيلومتر= ٦٢١و ميل
	اللتر(CM^2 ١٠٠٠)	١/٤ جالون	بوصة^2= ٦,٤٥ cm^2
			١ سنتيمتر^2= ١٥٥, in^2
			١لتر= ١,٠٦ qt
			١بوصة^3= ١٦,٣٩ cm^3
			١ ستنمتر^3= ٠٦١, in^3
الكتلة	كيلوجرام (kg)	سلوج (٣٢ باوند)	١ كيلوجرام= ٠٦٨ و سلوج
			١ سلوج= ١٤,٦ كيلوجرام
القوة (الوزن)	نيوتن(١٠٢, kg)	باوند (Lb)	١ باوند= ٤٥٤, كليوجرام
			١كيلوجرام= ٢,٢١ باوند
			١ نيوتن= ٢٢٥و باوند
	ثانية (sec)	ثانية (sec)	

الطول: فى النظام المترى تتغير وحدات الطول بالضرب فى عشرة أى أن ١٠ مليمتر= ١سم، ١٠سم= اديسيمتر و١٠ ديسيمتر= ١ متر هذا بالإضافة إلى الكيلومتر. أما فى النظام الانجليزى فتستخدم وحدات القدم والبوصة واليادرة والميل.

المساحة والحجم: السنتيمتر المربع فى النظام المترى، أو المتر المربع وحدات قياس تستخدم للتعبير عن المساحة، والسنتيمتر المكعب واللتر والمتر المكعب وحدات تستخدم للحجوم، أما فى النظام الانجليزى، فإن وحدات المساحة هى البوصة والقدم المربع، أما الجالون و$^{1}/_{4}$ الجالون فهى وحدات الحجوم.

الكتلة والقوة (الوزن): الكتلة عبارة عن مقدار ما يحتويه الجسم من مادة أما وزن الجسم فهو يعتمد على كل من مقدار ما يحتويه من مادة وما تتعرض له هذه المادة من جاذبية، لذا فإن قياس قوة الجاذبية الأرضية يعبر عن الوزن. وكتلة أى جسم لا تتغير إلا بتغير مقدار ما يتعرض له هذا الجسم من جاذبية، فالجاذبية علي سطح القمر تصل إلى $^{1}/_{6}$ ما هو عليه على سطح الأرض، وقد يختلف مقدار الجاذبية الأرضية باختلاف تواجد الجسم على مناطق محددة على الكرة الأرضية، ويرتبط هذا الاختلاف بخطوط العرض التى تقسم الكرة الأرضية.

أى أن كتلة أى جسم لا تتغير ولكن الذى يتغير هو وزنه بناءً على ما يتعرض له من جذب، فالكيلوجرام كتلة يعادل مقدار كتلة لتر واحد من الماء، وهو وحدة قياس الكتلة فى النظام المترى، أما وحدة قياس القوة أو الوزن فهى النيوتن (N) وعادة ما تعادل كتلة الكيلوجرام (٩,٨١ نيوتن). أما فى النظام الانجليزى، فالباوند هو الوحدة الأساسية للقوة (الوزن). فى حين أن السلوج هو وحدة الكتلة وأساس هذه الوحدة هو الكلمة الانجليزية sluggish، بمعنى بطىء أو راكد. وتعادل كتلة السلوج الواحد كوحدة وزن حوالى ٣٢ باوند.

الزمن: تعتبر الثانية هى وحدة قياس الزمن فى كلا النظامين.

الكميات المقياسية والكميات المتجهة:

تعتبر المقادير السابق الإشارة إليها مقادير كمية فوحدات الطول والحجم والمساحة والزمن، هى أمثلة لهذه الكميات القياسية أو المقياسية، فعندما يكون معلوماً أن الفرد قد جرى لمسافة ٨ كيلومتر فإن ذلك يشير إلى المقدار أو

الكمية التى جراها، فهنا تعنى المسافة مقياسا للمقدار، وهى فى هذا المثال تكون كمية مقياسية، هذا بالإضافة إلى أن معدل الجرى (السرعة speed) لمسافة ٨ كيلومتر كل ساعة أو درجة الحرارة أو مساحة أى منطقة أو كتلة ١٠ كيلوجرام كلها كميات مقياسية تعبر عن المقدار.

والتعبير عن الكثير من المقادير أو الكميات بمقاديرها فقط لا تعتبر كافية فى كثير من الأحيان، ولمزيد من الإيضاح لهذه الكميات فإنه من المفضل تحديد المقدار وتحديد الاتجاه أيضا، والكميات ذات المقدار والاتجاه تعرف بالكميات المتجهة.

فإذا ما تم دفع باب من كلا الاتجاهين بمقدارين متساويين من القوة فلن يتحرك الباب أما إذا تم الدفع بالقوتين من على أحد جانبى الباب، بمعنى تغيير اتجاه احدى القوتين، فإن النتيجة سوف تكون مختلفة تماماً، فطبيعة حركة الباب تعتمد على كل من مقدار واتجاه القوة المؤثرة فيه، والتى يطلق عليها فى هذه الحالة بالكمية المتجهة.

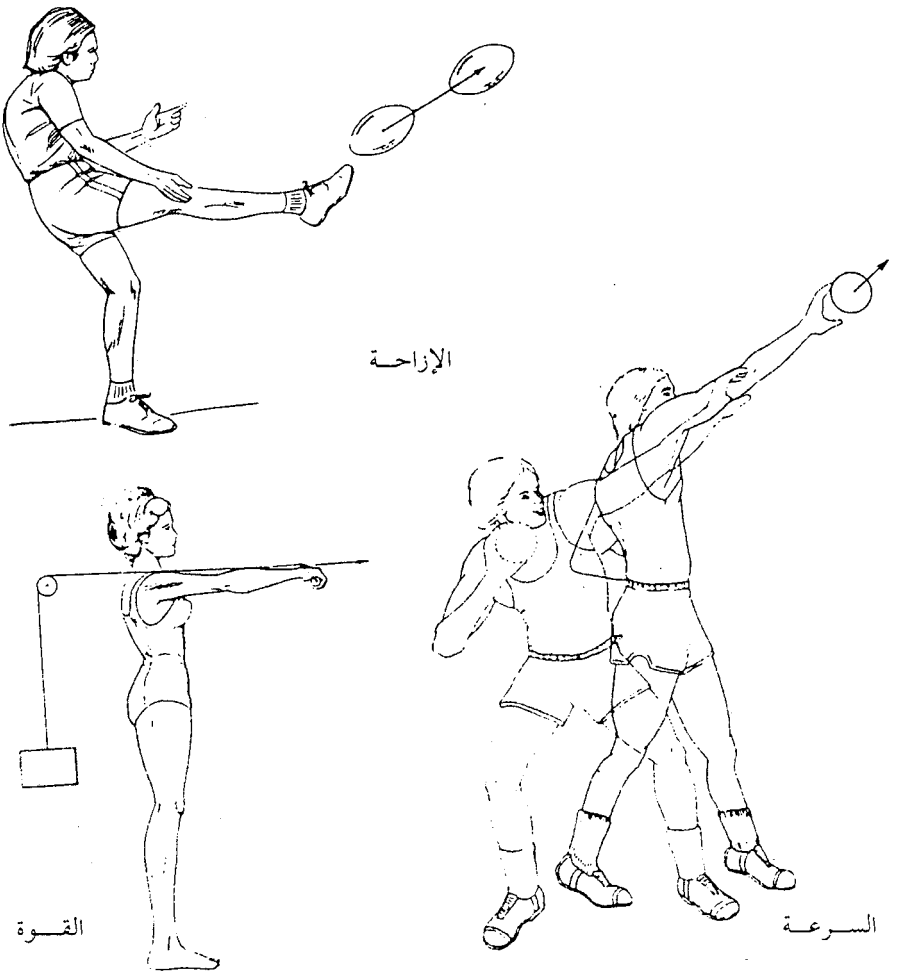
فإذا ما جرى الشخص الذى سبق أن جرى ٨ كيلومتر، ثمانية كيلومترات أخرى، فإن المسافة الكلية سوف تكون ١٦ كيلومتر، أما إذا جرى ثمانية كيلومترات ثم غير اتجاهه وعاد لمسافة ثمانية كيلومترات فى اتجاه نقطة البداية فإن تغيير موضعه أو إزاحته displacement تكون صفر، فهو لم يتحرك أى مسافة عن نقطة البداية، وعلى ذلك فإن الإزاحة تعتبر كمية متجهه تعبر عن المقدار وعن الاتجاه فى نفس الوقت.

وهناك كميات لمتغيرات عديدة فى مجال الميكانيكا الحيوية، لابد من التعبير عنها مقداراً واتجاهاً، فبالإضافة إلى القوة، هناك الإزاحة والسرعة بمعنى velocity وكذلك كمية الحركة والعجلة والاحتكاك والشغل والقدرة . . . الخ، فكأن هذه المتغيرات تعرف كمياتها واتجاهاتها معاً.

تحليل الكميات المتجهة:

يمكن التعبير عن أى كمية متجهة بسهم يوضح طول المقدار، فى حين

يعبر اتجاهه عن اتجاه هذه الكمية، ويوضح شكل (١) نماذج لأسهم تعبر عن كميات متجهة.



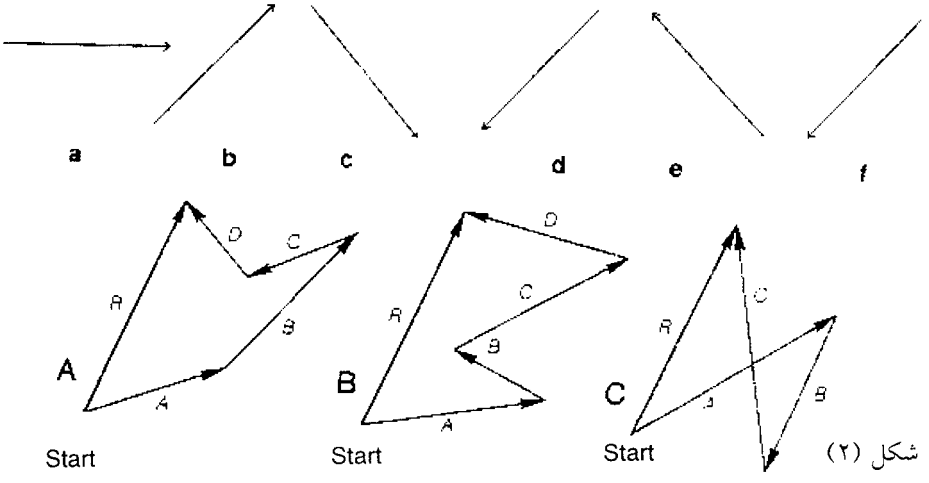
شكل (١) نماذج للكميات المتجهة كما توضحها الأسهم

توحيد المتجهات:

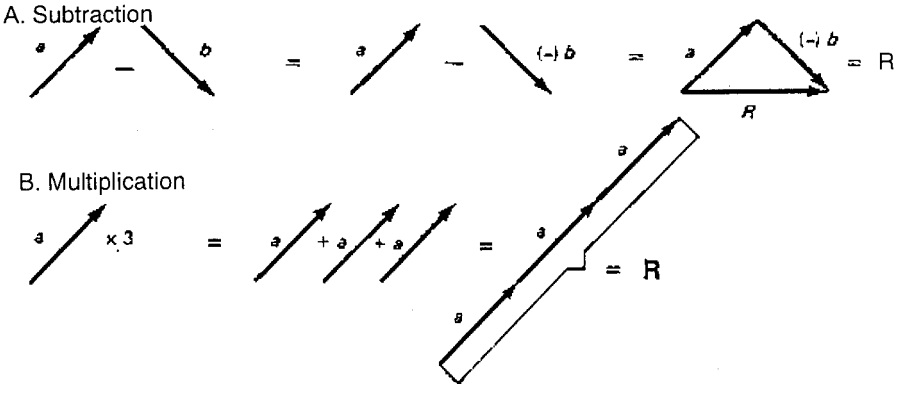
يمكن توحيد المتجهات عن طريق الإضافة، أو الطرح، أو الضرب، فالإضافة تتم عن طريق توصيل رأس المتجه بذيل المتجه الآخر (التالى) لتحديد الاتجاه والمقدار. والنتيجة النهائية لهذه العملية هى متجه جديد يعرف

بالمحصلة، ويمكن التعبير عن المتجه المحصل بالمسافة بين آخر رأس لآخر سهم وأول ذيل لأول سهم. ويوضح شكل (٢) نماذج لمتجهات تم توحيدها بالإضافة، مع ملاحظة أن رأس السهم المعبر عن المحصلة (R) يتقابل مع رأس المتجه الأخير من مجموعة هذه المتجهات، ويوضح هذا الشكل أيضاً أنه يمكن الحصول على محصلة لها نفس الاتجاه من مجموعة متجهات متباينة.

وطرح المتجهات يتم عن طريق تغيير الإشارة الخاصة بأحد هذه المتجهات، ثم تتم الإضافة كما هو الحال فى المثال السابق شكل (٣) واستخدام الضرب، بضرب المتجه فى أى مقدار يغير من المقدار فقط ولا يغير من الاتجاه كما هو موضح فى الشكل (٣).

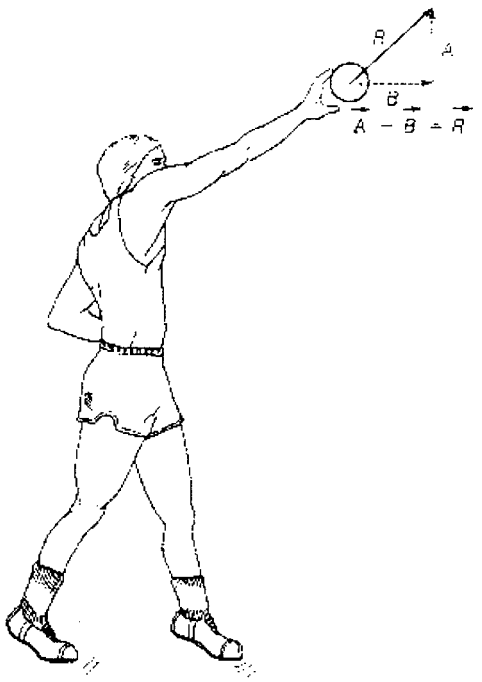


شكل (٢)



شكل (٣) توحيد وتحليل المتجهات بالجمع أو الطرح أو الضرب

تحليل المتجهات: كما سبق وأوضحنا فى توحيد المتجهات، فإن عملية التوحيد بين متجهين أو أكثر يؤدى إلى ظهور متجه جديد يعرف بالمحصلة، وعلى العكس من ذلك، فإن أى متجه يمكن تحليله إلى مركبتين تعملان بزاوية قائمة على بعضهما، فالمتجه فى شكل (٤) يعبر عن سرعة انطلاق الجله، فإذا ما حاولنا معرفة كم من هذه السرعة يتجه لأعلى وكم منها يتجه للأمام، فإنه يمكن تحليل هذا المتجه إلى مركبتين متعامدتين، حيث (B,A) هى المكونات أو المركبات الرأسية والأفقية للسرعة فى الاتجاه المحصل (R).



شكل (٤)
المتجه المحصل
وإمكانية تحليله إلى
مركبات رئيسية

تحديد المتجهات فى الفراغ:

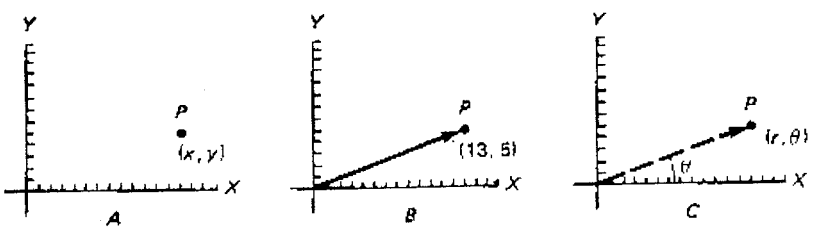
يعتبر تحديد الإطار المرجعى الذى تحدث فيه الحركة من الخطوات الهامة والمفيدة فى تحليل أى حركة ورصد الأوضاع وما يطرأ عليها من تغيير. ويمكن رصد الحركة على المستويات الفراغية الثلاثة، ولتسهيل الشرح سوف نوضح كيفية تحديد المتجهات على مستوى فراغى واحد أى فى اتجاهين.

فالنقطة (أ) يمكن تحديد موضعها بطريقتين، إما عن طريق المستطيل أو متوازى الأضلاع، وفى هذه الحالة يتم تقسيم المستوى الفراغى إلى أربعة أرباع عن طريق خطين متعامدين حيث يعبر الخط الأفقى عن المحور (X) فى حين يعبر الخط الرأسى عن المحور (y) وتقاس القيم على كل محور اعتباراً من نقطة تلاقى المحورين والتى تعتبر صفر التدريج بالنسبة لكلا المحورين (x،y) وبالتالى فإن تحديد موضع النقطة (أ) يتم التعبير عنه برقمين يحدد كل رقم موضع النقطة بالنسبة لأى من المحورين.

حيث يوضح شكل (٥) أن موضع النقطة (أ) هو (y.x) فى الوضع(A)، (١٣، ٥) فى الوضع (B) وتكون النقطة على رأس سهم (R) وبما أن ذيل السهم يبدأ من نقطة الأصل (صفر، صفر) فإن ذلك يعنى أن متجه هذا السهم قد أمكن تحديده حيث إحداثيات ذيل السهم هى (صفر، صفر) وإحداثيات رأس السهم هى (١٣، ٥).

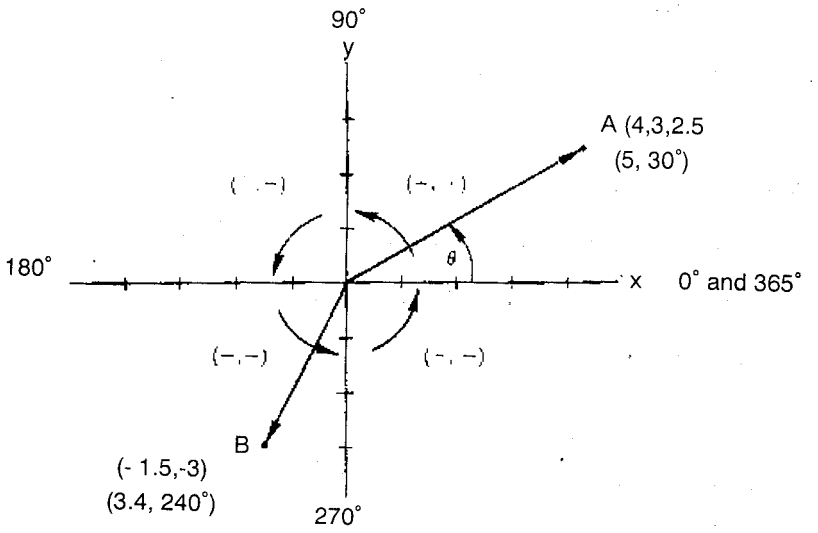
كما يمكن تحديد موضع النقطة (أ) باستخدام طريقة نصف القطر، حيث يرسم المتجه (r) زاوية مقدارها (θ) مع المحور الأفقى. وبالتالى تكون إحداثيات النقطة (P) هى (r.θ)، فإذا ما كانت النقطة (أ) هى رأس المتجه فإن (r) تعبر عن مقدار هذا المتجه، فى حين تعبر الزاوية (θ) عن اتجاهه.

ويتم قياس الزاوية فى هذا النظام فى اتجاه عكس عقارب الساعة، حيث تعتبر قيم (x) على يمين المحور (y) موجبة ويساره سالبة، فى حين تعتبر قيم (y) أعلى المحور (x) موجبة وأسفله سالبة.



شكل (٥) تحديد وضع أى نقطة فى الفراغ بالنسبة لمحورين (y & x)

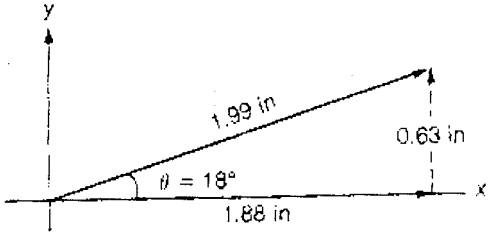
ويوضح شكل (٦) أن النقطة (A) تقع على مسافة ٤,٣سم بالنسبة للمحور الأفقى (x) وعلى ارتفاع ٢,٥سم بالنسبة للمحور الرأسى (y)، كما يوضح أن علاقة (r.θ) هى (٥، ٣٠ درجة) كما أن إحداثيات النقطة (B) هى (-٣، -١,٥) وأن علاقة (r.θ) هى (٤,٣سم، ٢٤٠ درجة).



شكل (٦) المحاور الرئيسية (x & y) وكيفية تحديد موضع النقطة بالنسبة لهذه المحاور

توحيد وتحليل المتجهات بالرسم:

فى إطار هذا الأسلوب، فإن العديد من المتغيرات البيوميكانيكية يمكن تناولها بالرسم. فإذا فرضنا لاعب وثب طويل يؤدى الارتقاء بسرعة (٣١,٦ قدم/ ث) وبزاوية ارتقاء مقدارها ١٨ درجة شكل (٧). فبناءً على أن سرعة الارتقاء فى هذه الحالة لها مقدار وأيضاً لها اتجاه، فهى بذلك تكون كمية



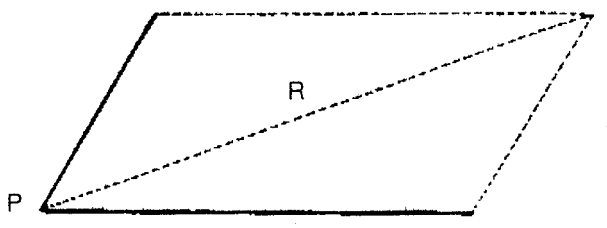
شكل (٧)

متجهة يمكن تحليلها إلى مركبتين متعامدتين، وذلك عن طريق التعبير عن وحدات السرعة بوحدات الطول. على أن يكون كل ٢٥ بوصة معادلة لأربعة قدم/ ث ورسم خط يعبر عن مقدار السرعة وبزاوية مقدارها ١٨ درجة يبدأ من نقطة الأصل، وعلى ذلك فإنه يمكن التعرف على كل من المركبة الأفقية والمركبة الرأسية للسرعة وذلك عن طريق إسقاط عمود من رأس السهم، فيتكون مثلث قائم الزاوية وتره هو المتجه الخاص بالسرعة النهائية وضلعيه هما المركبات بحيث يكون الضلع العمودى هو المركبة الرأسية والضلع الأفقى هو المركبة الأفقية.

ويتم تحديد هاتين المركبتين عن طريق القياس الدقيق لأطوالهما ثم تحويلها إلى مقادير سرعات بناءً على ما يعادل وحدات الطول من سرعة وهى (كل ٢٥, بوصة طول ـ تعادل ٤ قدم/ ث سرعة).

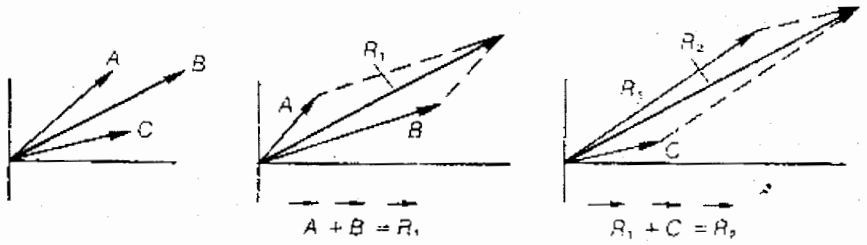
وهنا يتضح أن المركبه الأفقية للسرعة كانت (٣٠ قدم/ث) فى حين كانت المركبة الأساسية (١٠ قدم/ث).

ويمكن الحصول على القيمة المحصلة أيضاً لمتجهين عن طريق الرسم، وذلك عن طريق رسم متوازى مستطيلات، ويبدأ ذلك العمل بتحديد موضع النقطة (P) التى يؤثر فيها المتجهين. ثم يتم التعبير عن المتجهين بأسهم بينها نفس الزاوية محسوبة بدقة، ومرسومة بمقياس رسم موحد (وحدات طول تعادل وحدات سرعة). ثم يتم بعد ذلك رسم متوازى مستطيلات بإضافة ضلعين يكملان الشكل، توصيل الوتر (R) لهذا الشكل ابتداءً من نقطة الأصل (P) وهذا الوتر يعبر عن اتجاه ومقدار المحصلة وهى المتجه الموحد لمتجهين معلومين مقداراً وإتجاهاً. شكل (٨).



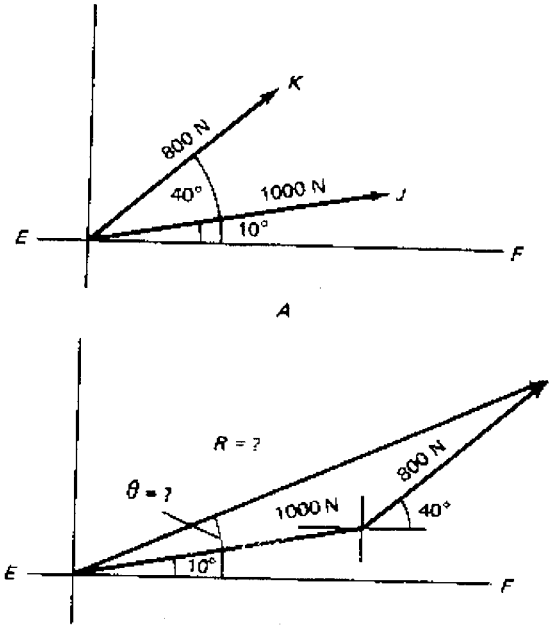
شكل (٨)
استخدام متوازى الأضلاع
فى حساب مركبات القوة

وفى حالة محاولة حساب المتجه المحصل لثلاثة أو أكثر من المتجهات تؤثر فى نقطة فإنه يمكن اتباع نفس الخطوات، حيث نبدأ بتحديد محصلة أى متجهين، ثم تستخدم المحصلة لتكون أحد جانبى متوازى المستطيلات على أن يكون المتجه الثالث هو الجانب الآخر، ثم يعاد رسم متوازى مستطيلات جديدة جانبيه محصلة المتجهين فى الخطوة الأولى، والمتجه الثالث، وبذلك يكون المتجه الأخير هو المتجه النهائى المحصل للمتجهات الثلاثة (شكل ٩).



شكل (٩) استخدام متوازى أضلاع القوة فى تحديد تأثير ثلاثة قوى (أ، ب، جـ) حول نقطة.

كما يمكن استخدام طريقة جمع المتجهات عن طريق إضافة رأس المتجه إلى ذيل المتجه الآخر، فإذا فرضنا أن عضلة (J) تعمل بقوة ١٠٠٠ نيوتن، وتعمل على العظمة (E.F) بزاوية شد مقدارها ١٠ درجات، وأن عضلة أخرى (k) تعمل بقوة مقدارها ٨٠٠ نيوتن وتشد بزاوية ٤٠ درجة شكل (١٠ A) فإن التأثير المحصل لهاتين العضلتين يمكن توصيفه أو التعبير عنه بالمقدار والاتجاه للمحصلة. حيث تستخدم وحدات الطول للتعبير عن وحدات القوة، ثم يتم رسم المتجهات بالنسبة للمحورين (x.y)، بحيث يكون ذيل القوة الناتجة عن العضلة (k) متصلاً برأس السهم المعبر عن المتجه (J) شكل (١٠ B) والمقياس المستخدم فى هذا المثال هو (كل اسم يعادل ٤٠٠ نيوتن). ثم يتم توصيل رأس السهم المعبر عن (k) بذيل السهم المعبر عن (J) ويكون هذا الخط هو المحصلة، حيث يعبر الطول عن القوة المحصلة للعضلتين، وذلك عن طريق ضرب طول المتجه فى المقياس المستخدم (١سم= ٤٠٠ نيوتن) أما بالنسبة للاتجاه فتحدده الزاوية المحصورة بين المحور (X) والخط المعبر عن المحصلة.



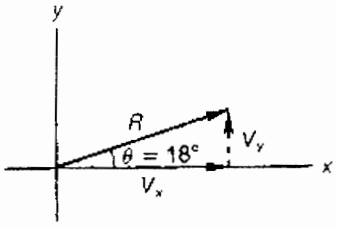
شكل (١٠)
توحيد المتجهات
باستخدام طريقة
الرسم حيث يتم
جمع المتجهات مع
الأخذ فى الاعتبار
بالمقدار والاتجاه

ونود الإشارة هنا إلى أهمية دقة القياس حيث يكون مقدار المحصلة فى هذا المثال عبارة عن (٤,٤سم) أى أن مقدار المحصلة يكون (٤,٤سم × ٤٠٠)= ١٧٦٠ نيوتن فى اتجاه ٢٣,٥درجة بالنسبة للمحور الأفقى. وكما هو الحال فإنه يمكن استخدام هذه الطريقة مع أكثر من ثلاثة متجهات، حيث يمكن توحيد أى عدد من المتجهات بنفس الأسلوب.

استخدامات حساب المثلثات فى تحليل وتوحيد المتجهات:

على الرغم من أن طريقة التمثيل بالرسم لها أهميتها فى تحديد الشكل. إلا أنها تعتبر محدودة نسبياً فى حساب النتائج بدقة حيث يصعب تحقيق مستوى عالى من الدقة فى حالة استخدام التمثيل بالرسم، هذا بالإضافة إلى بطىء الإجراءات.

ويعتبر استخدام حساب المثلثات فى تحديد كل من مقادير واتجاهات الكميات المتجهة من الأساليب الأكثر دقة فى تحليل وتوحيد المتجهات فكما سبق وأوضحنا فإن أى متجه يمكن تحليله إلى مركباته الأفقية والرأسية، إذا تم استخدام علاقات حساب المثلثات للمثلث قائم الزاوية.



Given: $R = 31.6'/\text{sec}$

$\theta = 18°$

To find: Value of V_y:

$$\sin\theta = \frac{\text{opp}}{\text{hyp}} = \frac{V_y}{R}$$

$$V_y = \sin 18° \times 31.6 = .3090 \times 31.6$$

$$\boxed{V_y = 10'/\text{sec}}$$

To find: Value of V_x:

$$\cos\theta = \frac{\text{adj}}{\text{hyp}} = \frac{V_x}{R}$$

$$V_x = \cos 18° \times 31.6 = .9511 \times 31.6$$

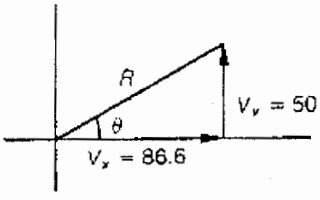
$$\boxed{V_x = 30'/\text{sec}}$$

حساب السرعة الرأسية والأفقية بمعلومية الزاوية والوتر (R).

Given: $V_y = 50'/\text{sec}$

$V_x = 86.6'/\text{sec}$

Find: R and θ



Solution: $R_2 = V_y^2 + V_x^2$

(Pythagorean theorem)

$R^2 = 50^2 + 86.6^2 = 10{,}000$

$$\boxed{R = \sqrt{10{,}000} = 100'/\text{sec}}$$

$$\theta = \arctan\frac{V_y}{V_x}$$

$$\theta = \arctan\frac{50}{86.6} = .5774$$

$$\boxed{\theta = 30°}$$

حساب المحصلة والزاوية بمعلومية المركبتين

شكل (١١ - أ ، ب) استخدامات حساب المثلثات فى تحليل وتوحيد المتجهات

فإذا فرضنا أن لاعب وثب طويل يقوم بالارتقاء بسرعة (٣١,٦ قدم/ث) وبزاوية مقدارها ١٨ درجة مع المحور الأفقى فإن لتحديد السرعة الأفقية (V_X) والسرعة الرأسية (V_Y) أثناء الارتقاء، فإنه يمكن رسم مثلث قائم الزاوية حيث تمثل السرعة (V_R) وتر هذا المثلث، وكل من المركبتين الأفقية والرأسية تمثلان الضلعين الأفقى والرأسى للزاوية القائمة، شكل (١١-أ).

ولتحديد قيم كل من (V_y , V_x) فإنه يمكن استخدام كل من الجيب وجيب التمام لزاوية ميل الوتر، كما هو موضح فى الجداول الخاصة بذلك، فالسرعة فى الاتجاه (V_x) هى حوالى ٣٠ قدم/ث فى حين السرعة الرأسية (V_y) هى حوالى ١٠ قدم/ث.

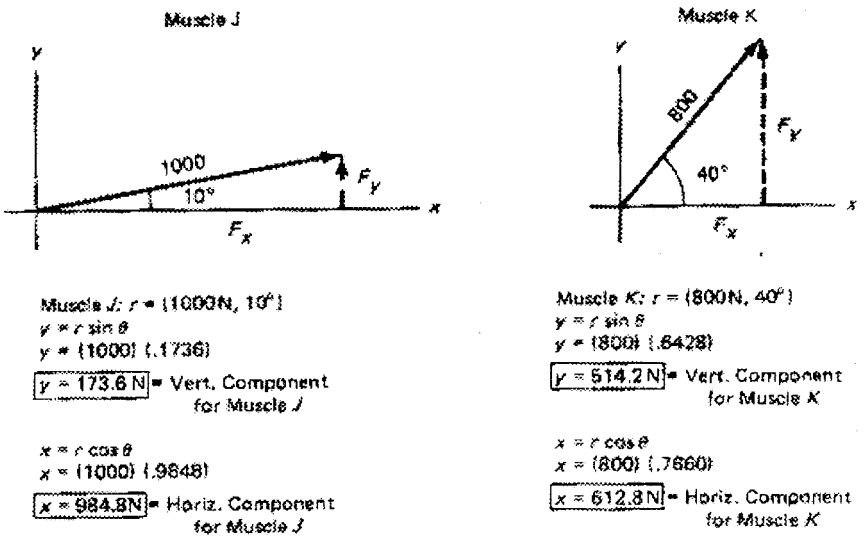
كما يمكن عمل توحيد للمتجهات أيضاً عن طريق العلاقات التى تحكم أضلاع المثلث قائم الزاوية، فإذا تعامد متجهان على بعضهما فإن هذا يعنى عكس ما تم إيضاحه فى المثال السابق، فإذا تم رمى كرة بسرعة رأسية ٥٠ قدم/ث وسرعة أفقية ٨٦,٦ قدم/ث فإن السرعة المحصلة وزاوية الانطلاق يمكن حسابها كما هو موضح فى شكل (١١-ب) والسرعة المحصلة فى هذا المثال هى ١٠٠ قدم/ث وزاوية الانطلاق هى (٣٠ درجة).

أما إذا كان هناك أكثر من متجهين، أو إذا كانت المتجهات لا تعمل متعامدة كما هو الحال فى المثال السابق، فإنه يمكن حساب المحصلة عن طريق تحديد المركبات لكل متجه على حدة. ثم تجمع هذه المركبات للحصول على مركبات المحصلة. وبمجرد معرفة المركبتين (x.y) فإنه يمكن التعرف على مقدار واتجاه المحصلة (R).

فبالعودة للمثال المستخدم فى شكل (١٠) حيث يتم تحديد القوة المحصلة لعمل عضلتين واتجاه هذه المحصلة وزاوية الشد، نجد أن حل هذه المشكلة باستخدام حساب المثلثات، يبدأ بتحديد المركبات الأفقية والرأسية لكل عضلة، كما هو موضح فى الشكل (١٢).

وبذلك يكون المجموع فى الاتجاه (y) لكلا العضلتين (١٧٣,٦ + ٥١٤,٢=y = ٦٨٧,٨ نيوتن) وبنفس الأسلوب يتم التعامل مع المركبات فى الاتجاه الأفقى حيث أنها مجموع المركبات للعضلتين وهى (٦١٢,٨ + ٩٨٤,٨= x =١٥٩٧,٦ نيوتين.

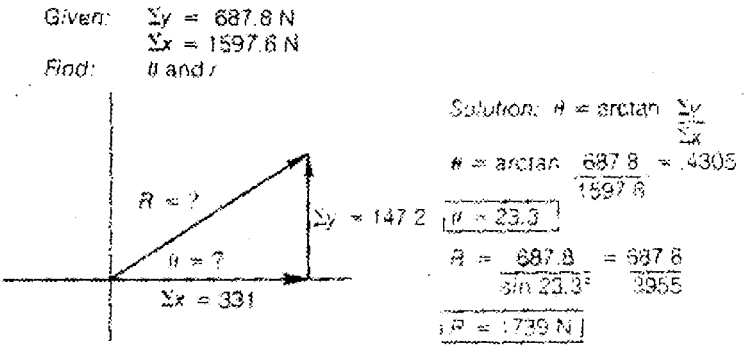
وكما سبق وأوضحنا أن توافر معلومات عن المركبات فى الاتجاهين(x.y)



شكل (١٢) مقارنة القوة العضلية لعضلتين تعملان بزوايا شد مختلفة

يجعل من السهل تحديد المتجه المحصل حيث يتم رسم مثلث قائم الزاوية وبالتالى يتم التعرف على المتغير المراد حسابه.

ويوضح شكل (١٣) الإجراءات المتبعة بعد التعرف على المركبات (x.y) للعضلات (J.K) وجمع كل منها، فالقيم النهائية لكل من المركبات الافقية والرأسية تمثل ضلعى المثلث القائم فى حين يمثل وتر المثلث المحصلة مقداراً وإتجاهاً.



شكل (١٣) تحديد الزاوية المحصلة لمتجهين متعامدين

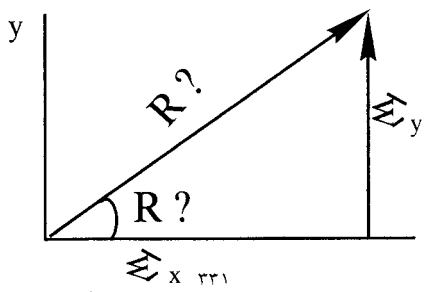
وباستخدام علاقة الظل بين المركبين، فإن الزاوية النهائية للشد للعضلتين يمكن حسابها فتكون ٢٣,٣ درجة وبناءاً على هذه المعلومات فإن محصلة قوة مقدارها ١٧٣٩ نيوتن يمكن حسابها عن طريق (المقابل = θ) حيث أن:
الوتر

المعطيات هى نيوتين ٦٨٧,٨= Σy

١نيوتن ١٥٩٧,٦ = Σx

والمجهول هو (r , θ).

∴ الحل $\theta = \arctan \frac{\Sigma y}{\Sigma x}$



$\theta = \frac{٦٨٧,٨}{١٥٩٧,٦} =$,٤٣٠٥

θ = ٢٣,٣ درجة

$R = \frac{٦٨٧,٨}{\text{Sin } ٢٣,٣} = \frac{٦٨٧,٨}{,٣٩٥٥}$

R = ١٧٣٩ نيوتن

وقد أوضحنا سابقاً أن قيم كل من (x)، (y) من الممكن أن تكون سالبة وأن قيمة الزاوية (θ) من الممكن أن تزيد عن ٩٠ درجة، كما هو فى شكل (١٣) السابق الإشارة إليه.

ونود الإشارة إلى أن القدرة على التعامل مع المتغيرات الخاصة بالحركة فى ضوء فهم تحليل المتجهات يساعد بدرجة كبيرة على استيعاب ما حول الحركة من قوى مؤثرة واتجاهاتها، وكذلك متجهات شد العضلات ودورها فى تحديد

شكل حركة الأطراف، هذا بالإضافة إلى أن تحليل حركات الأجسام المقذوفة توضح لنا دور الجاذبية الأرضية فى حركة الجسم المقذوف.

وأن أى تغيير فى أى من المتجهات المؤثرة فى حركة ما يساعد التحليل فى إيضاح تأثير هذا التغيير، أى أنه يمكن القول أنه بدون استخدام عملية تحليل المتجهات قد يكون من الصعب إن لم يكن مستحيلاً وصف الحركة بشكل دقيق من وجهة النظر الكمية.

الحركة:

إذا كان الهدف من دراسة الحركة هو محاولة فهم دور الجهاز الهيكلى وتطبيقات استخدامه فى الحركة، فإن الأمر يتطلب أولاً معرفة خصائص هذه الحركة وما هو مفهوم الحركة وما هى أنواعها خلال حركة الجسم ككل أو حركة أى جزء من أجزاءه وكيف يمكن تفسير الحركة فى ضوء المبادىء والقواعد والميكانيكية؟ كيف يمكن تطبيق التعميمات الخاصة بالحركة على الجهاز الهيكلى للإنسان هذا بالإضافة إلى كيفية معرفة أن الحركة قد حدثت بالفعل؟

الحركة النسبية:

تعتبر الحركة فعل أو عملية تتضمن تغيير المكان، أو الوضع، بالنسبة لإطار مرجعى محدد، وأيا كانت حالة الجسم سواء فى حالة ثبات أو حركة، فإن المهم أن يكون هناك إطار مرجعى أو مرجع أصلى تنسب له الحركة، فالمشى أو الجرى أو ركوب الدراجة أو ضربه الإرسال فى التنس أو الوثب لأعلى أو للأمام كلها أشكال للحركة، فإذا ما كانت الأرض هى المرجع الأصلى الذى تنسب إليه الحركة. فإن المسافر داخل السيارة يعتبر فى حالة ثبات نسبى بالنسبة للسيارة فى حين أن السيارة تتحرك بالنسبة لهذا المرجع الأصلى.

والحركة النسبية لكل من المسافر والسيارة تحدد فى ضوء علاقاتها بنقطة رجوع أصلية، وهذا يعنى أنه من الممكن أن يكون الفرد فى حالة ثبات وحالة حركة وذلك وفقاً لنقطة الرجوع الأصلية أو الإطار المرجعى الذى يتحرك فيه، وتعتمد الحركة النسبية لأى جسم على السرعة النسبية فى الفراغ، فلاعبان

يقومان بالجرى بسرعة ٨ كيلومتر فى الساعة يعتبران فى حالة ثبات نسبى فيما بينهم وفى حالة حركة بالنسبة لسطح الأرض، أما إذا كان أحدهم يجرى بسرعة ٨ كيلومتر فى حين يجرى الآخر بسرعة ١٠ كيلومتر فإن ذلك يعنى أن اللاعب الأول يعتبر فى حالة ثبات نسبى بالمقارنة باللاعب الثانى، فى حين يكون اللاعب الثانى فى حالة حركة بالنسبة للاعب الأول وأيضا بالنسبة لسطح الأرض.

أسباب الحركة:

إنه من الصعب التفكير فى الحركة دون رؤية مظاهرها، فإذا لم يتم ملاحظة ما يحدث من تغيير فى الوضع، فإنه من الصعب تحديد أسباب الحركة، فقد يكون السبب فى هذا التغيير هو شد أو دفع أو أى قوى أخرى.

وبدون استثناء يمكن القول إن هناك أشكال من القوة، والقوة المسببة للحركة، فإذا تحرك جسم فهذا يعنى أنه وقع تحت تأثير قوة، وأن هذه القوة تفوق الخاصية القصورية المقاومة للحركة لهذا الجسم، ومقدار القوة بالنسبة لمقدار مقاومة الجسم للحركة هو العامل المحدد لحدوث الحركة.

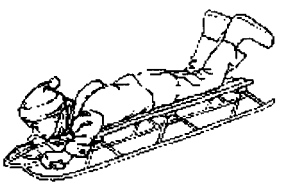
أنواع الحركات من حيث مسارها الهندسى:

على الرغم من تنوع الحركات التى يمكن أن يؤديها الجسم البشرى، سواء فى أداءه لواجباته اليومية العادية أو فى أداءه للمهارات الرياضية بمختلف أنواعها إلا أنه فى حقيقة الأمر، عند محاولة تصنيف هذه الحركات من حيث مسارها الهندسى إلى نوعين رئيسيين للحركة هما: الحركة الانتقالية أو الخطية والحركة الدورانية الزاوية. فالجسم إما أن يتحرك ككل من مكان لآخر أو أن يدور ككل أو تدور أطرافه حول محاور دوران، وفى بعض الأحيان قد يحدث كل من نوعى الحركة فى آن واحد.

فالأجسام من الممكن أن تتحرك فى مسارات مستقيمة أو منحنية، فهى تتدحرج وتنزلق وتسقط وترتد وتتحرك كالبندول وتدور حول محاور جزئية أو محاور كاملة، كما أنها تدور فى نفس الوقت الذى تتحرك فيه من مكان لآخر.

الحركة الانتقالية:

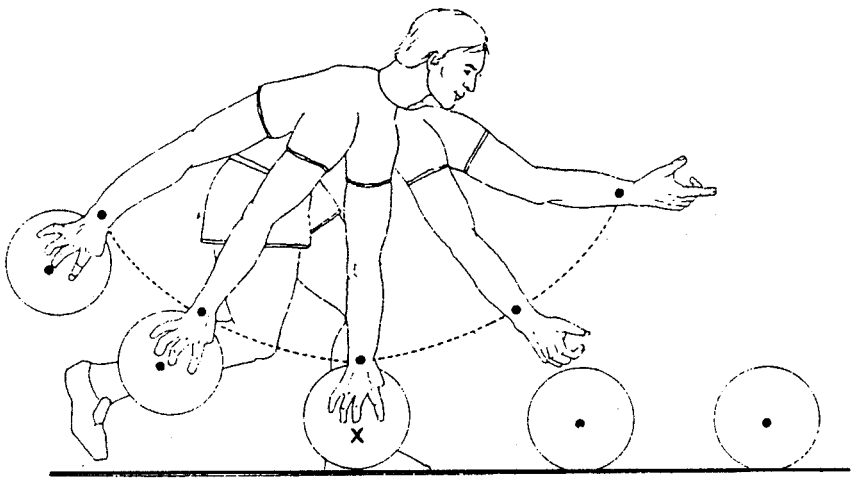
وهذا النوع من الحركة سمى حركة انتقالية لأن الجسم يتحرك ككل من مكان لآخر أو من موضع لآخر، وعادة ما تسمى الحركة الانتقالية بالحركة الخطية، لأنها تتم إما فى خط مستقيم أو خط منحنى، فالحركة الانتقالية أو الخطية التى تتم فى خط مستقيم يتحرك فيها جميع أجزاء الجسم فى نفس الاتجاه بمعدل ثابت للسرعة، فلاعب الانزلاق على الماء، وحركة كرة البولنج كلها نماذج للحركة الانتقالية فى خط مستقيم، أما الحركة الانتقالية فى خط منحنى يتحرك خلالها الجسم فى خط أو مسار منحنى، فحركة الأجسام فى الفراغ عند قذفها وكذلك حركة لاعب الانزلاق على الماء فى المناورة خلف الزورق وكذلك حركة الجسم ككل فى الوثب العالى أو الطويل كلها نماذج للحركة الانتقالية فى خط منحنى، والتى قد تبدو حركة غير انتقالية فى مظهرها شكل (١٤-أ).



شكل (١٤ -أ)
مثال لحركة خطية

والحركات من هذا النوع تعتبر حركات انتقالية فى خط منحنى، بناءاً على الحقيقة القائلة، إن الجسم يتحرك تحت تأثير قوى غير متعادلة تحافظ على وجوده فى هذا المسار، وأن مجرد توقف هذه القوى فى التأثير على الجسم، وأصبح الجسم حراً فسوف يتحرك حركة خطية انتقالية فى مسار مماس للمسار المنحنى عن لحظة توقف تأثير القوى أو عند لحظة تحرره.

فمسار حركة الكرة فى مرجحة الذراع لدحرجتها فى البولنج يعتبر مسار دائرى، وعند ترك الكرة فى نهاية هذا المسار فإنها سوف تتحرك فى مسار مماس مستقيم حتى تبدأ قوى الجاذبية الأرضية فى التأثير عليها وكذلك قوى الاحتكاك. (شكل ١٤-ب).



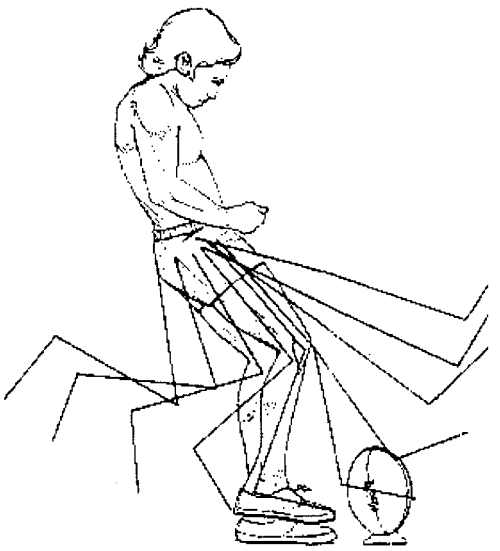
شكل (١٤ -ب) حركة رسغ اليد أثناء دحرجة كرة البولنج

الحركة الدورانية أو الزاوية:

وهذا النوع من الحركة يوضح حركة الروافع بشكل عام، وكذلك حركة العجلات حول محاورها، وتحدث الحركة الدورانية عندما يتحرك الجسم فى مسار دائرى حول محور ثابت، فالزراع يتحرك حركة دورانية حول مفصل الكتف كما يتحرك الساعد حركة دورانية حول مفصل المرفق وتتحرك الساق حركة دورانية حول مفصل الركبة فى القبض والمد وكذلك حركة الطرف السفلى عند ركل الكرة شكل (١٥). ويجب أن نضع فى الاعتبار أن هناك فرق بين هذا النوع من الحركة والحركة فى مسار دائرى، فالحركة فى مسار دائرى توضح حركة أى نقطة على نصف قطر الدوران، فى حين توضح الحركة الدورانية أو الزاوية مسار نصف القطر نفسه.

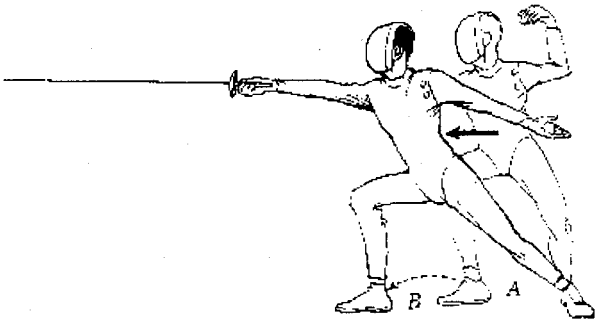
أنواع أخرى من الحركة:

يعنى تردد الحركة، هو تكرار حركات متشابهة، ويستخدم هذا المصطلح فى التعبير عن الحركة الانتقالية المتكررة كما هو الحال فى تنطيط الكرة، ويستخدم مصطلح تذبذب oscilation للتعبير عن الحركات المتكررة فى منحنى كما هو الحال فى حركة البندول.



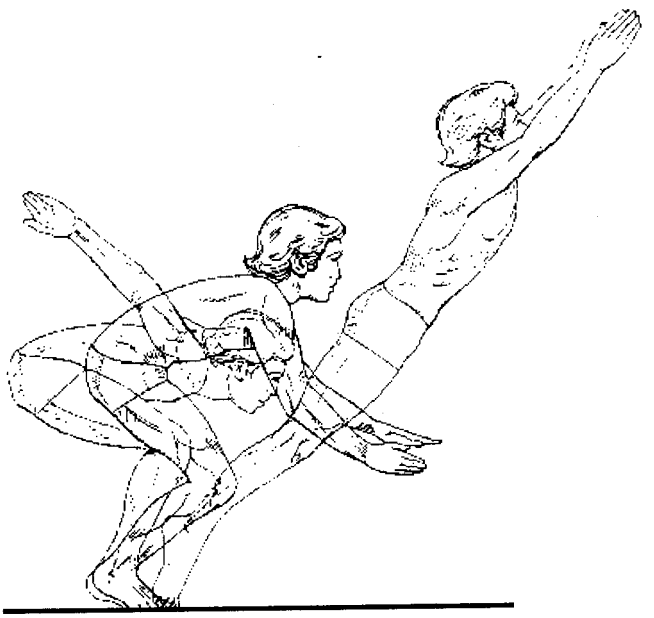
شكل (١٥) مثال
لحركة دورانية فى
مفصل الفخذ

وعادة ما يتحرك الجسم حركة مركبة فى كل من فرعى الحركة السابق الإشارة إليهم، وفى هذه الحالة تسمى الحركة بالحركة العامة، فلاعب الدراجات يتحرك ككل خطياً كنتيجة لحركة دائرية فى عجلات الدراجة مع توافر القدر الكافى من الاحتكاك بين عجلات الدراجة وسطح الأرض.



شكل (١٦)
مثال لحركة عامة

كما أن المشى والجرى، ما هو إلا حركة انتقالية فى خط مستقيم وهى ناتجة عن حركة دورانية أو زاوية فى مفاصل الطرف السفلى، وتتوافق الحركة الدورانية أو الزاوية لأجزاء الجسم بحيث تبدو حركة أى من الأطراف حركة انتقالية ويبدو ذلك واضحاً فى مهارات الرمى، وحركة الطعن فى المبارزة، شكل (١٦) نتيجة للحركة الدورانية للزراع والساعد تتحرك اليد خطياً فتكتسب الإدارة حركة خطية قبل التحرر.



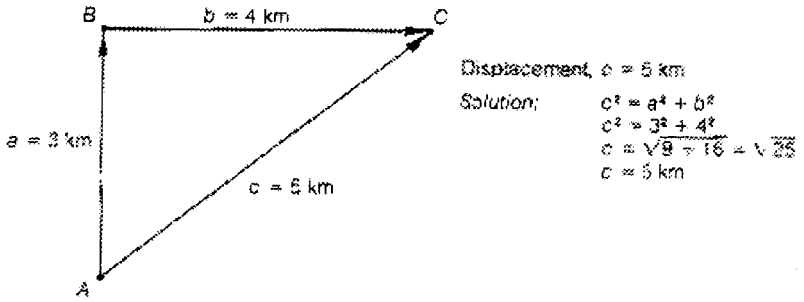
شكل (١٧)
مثال لحركة جسم
تحت تأثير عمل
العضلات حيث
يظهر فيها الحركة
الدورانية فى
الأجزاء المتحركة
(الأطراف)

أنواع الحركات التى يسمح بها جسم الإنسان:

يمكن أن نعتبر أن جسم الإنسان قادر على أداء جميع أنواع الحركات، فمعظم مفاصل الجسم هى من النوع المحورى، وبالتالى فإن حركات الأطراف تتم بشكل دورانى أو زاوى، شكل (١٧)، حتى وإن كان هناك جزء انتقالى تتحرك فيه هذه المحاور بانزلاق عظام المفصل، ولكنه يمكن إهمال هذا الجزء بالمقارنة بالحركة الدورانية فى الطرف المتحرك.

ويتحرك جسم الإنسان ككل حركة خطية تحت تأثير عمل الجاذبية الأرضية، أو عندما ينزلق كما هو الحال فى شكل (١٤) السابق الإشارة إليه أو كما هو الحال فى سقوط الجسم من ارتفاع كما هو موضح فى شكل (١٨)، أو عندما يقع تحت تأثير قوى خارجية كشد الزورق فى الانزلاق على الماء، شكل (١٩)، كما يتحرك جسم الإنسان حركة عامة، فى الدحرجات الأمامية والخلفية وفى الدورانات الهوائية، وحركة دورانية فى المناورة التى يقوم بها لاعب الانزلاق على الجليد كما يتحرك الجسم حركة انتقالية منحنية فى مهارات الغطس، والوثب الطويل، والوثب العالى، والمروق من أعلى

شكل (١٨)
مثال لحركة الجسم
تحت تأثير قوى
خارجية



شكل (١٩) الإزاحة كمسافة محصلة

الحاجز، كما يتحرك حركة مترددة، عند القفز على الترامبولين، وعند المرجحة أماماً وخلفاً على جهاز الحلق، أو العقلة.

العوامل المحددة لنوع الحركة:

سبق وناقشنا أسباب الحركة لأنواع الحركات المختلفة بناءاً على مسارها الهندسى، والآن سوف نتعرض لسؤال آخر حول الحركة، وهو ما هى العوامل التى تؤخذ فى الاعتبار لتحديد نوع الحركة؟

إن أفضل أسلوب لتحديد الإجابة على هذا السؤال هو أداء كل نوع من أنواع الحركات وتحديد المطلوب لحدوث هذا النوع.

فلكى يتحرك الجسم حركة خطية، فسوف نجد أنه يجب أن يكون حراً وبالتالى فإنه يحتاج إلى قوة تعمل على أحد جانبيه، وعلى أن تمر هذه القوة بمركز ثقل هذا الجسم، حيث سوف يؤدى ذلك إلى حركة الجسم فى خط مستقيم ما لم تعيقه أى مقاومة خارجية متمثلة فى قوة مضادة، أما إذا أعاقه حركة الجسم قوى مضادة كمقاومة السطح مثلاً فسوف يؤدى ذلك إلى دورانه حول نقطة أو محور

يمر بنقطة اتصال السطح، فإذا حاولنا رفع منضدة أو كرسى على سطح خشن كسطح أسمنتى مثلاً، فسوف لا يتحرك الكرسى أو المنضدة خطياً إلا إذا مر خط عمل القوة بمركز الثقل، وفى هذه الحالة يتطلب تحريك الكرسى أو المنضدة أفقياً فى حركة خطية مرور خط عمل القوة أسفل مركز الثقل بمسافة يحددها طبيعة السطح ودرجة مقاومته للحركة حتى يمكن التغلب على مقاومة الاحتكاك.

أما إذا كان أحد أجزاء الجسم مثبتاً، فسوف يؤدى هذا الدفع إلى حركة دورانية إذا كانت القوة المستخدمة كافية لتحريكه، وعلى غرار ذلك فإن الروافع تنتج حركة دورانية حيث يتمثل عمل الرافعة فى وجود محور ارتكاز أو دوران وبحيث تعمل القوة المحركة فى أى موضع على الرافعة باستثناء هذا المحور، وهذا يعنى أن تحقيق حركة دورانية لجسم حر يتطلب أن يمر خط عمل القوة المحركة بعيداً عن مركز ثقله.

أما الحركة المتكررة، فهى تحدث نتيجة لشكل من أشكال القوى المتضادة، كما أن حركة تذبذب البندول تحدث عن طريق تكرار أو تناوب عمل قوى الجاذبية على جسم معلق حر الحركة فى أى وضع غير وضع الثبات.

الخلاصة أنه يمكن القول، إن نوع الحركة التى يمكن أن يتحركها أى جسم، يعتمد على نوع الحركة التى يسمح بها ذلك الجسم بالمقام الأول، فإذا ما كان الجسم على هيئة رافعة، فإنه سوف يسمح بالحركة الدورانية فقط، أما إذا كان الجسم معلق فسوف يسمح ذلك بحدوث حركة ترددية، أما إذا كان الجسم حراً، فإن ذلك سوف يسمح بحدوث كل من الحركة الانتقالية أو الحركة الدورانية معتمداً فى ذلك على الظروف المحيطة بذلك الجسم، وتشمل هذه الظروف، نقطة تأثير القوة بالنسبة لمركز ثقل الجسم، والمسار المسموح به للحركة ووجود أو عدم وجود قوى أخرى تساعد أو تعيق الحركة.

العوامل المؤثرة فى تغيير نوع الحركة:

عادة ما يمكن تعديل نوع الحركة عن طريق أشكال مختلفة عن القوى الخارجية، كالاحتكاك ومقاومة الهواء، ومقاومة الماء، حيث قد تكون هذه القوى مساعدة أو معيقة وذلك وفقا للظروف المحيطة ونوع الحركة المؤداه،

والعوامل المحددة لنوع الحركة وتغييرها من نوع لآخر، قد لا تكون هى نفس العوامل المحددة لأنواع أخرى. فعلى سبيل المثال يعتبر الاحتكاك عامل مساعد قوى فى العدو حيث يبذل العداء قوى أفقية عالية المقدار دون خوف من الانزلاق، فى حين أنه من ناحية أخرى، يعمل الاحتكاك على إعاقة حركة الكرة فى التمرير الطويل على مستوى سطح الأرض.

وتعتبر مقاومة الماء ومقاومة الهواء عاملاً أساسياً فى حركة المراكب الشراعية، فى حين أن مقاومة الهواء تعتبر عاملاً معيقاً لحركة العداء ولاعب الدراجات. كما تعتبر مقاومة الماء عاملاً أساسياً فى زيادة ناتج حركات الزراعين والرجلين فى السباحة، فى حين أنها فى نفس الوقت تعمل كعائق لحركة السباحة للأمام.

ومن أحد أهم المشكلات الأساسية فى الأداء الرياضى، هو كيفية التعامل مع هذه العوامل لتقليل تأثيرها فى حالة ما إذا كانت عوامل معيقة. وتعظيم استخدام تأثيرها فى حالة ما إذا كانت قوى مساعدة. وسوف نتناول هذا تفصيلاً فى جزء لاحق.

كما يمكن الإشارة إلى بعض العوامل التشريحية، التى تحدد حركات الأطراف، بما فى ذلك الاحتكاك الداخلى لأسطح التمفصل، والتى يعمل السائل الزلالى داخل محفظة المفصل على تقليله، هذا بالإضافة إلى عمل العضلات المضادة، على الأربطة والأنسجة الضامة للمفصل، وكذلك تركيب أسطح التمفصل والضغط الداخلى للمفصل، وتعتبر كل هذه العوامل أساساً فى تحديد المقاومة الداخلية للمفصل.

التحليل الكينماتيكى للحركة:

تعرف الحركة بأنها فعل أو عملية مركبة من تغيير الوضع أو الموضع بالنسبة لنقط مرجعية محددة، لذا فإنه كلما يتم تناول الحركة بالتحليل يجب أن تكون هناك نقطة أصل تنسب إليها الحركة، وبمجرد تحديد هذه النقطة أو النقط بغض النظر عن نوع الحركة فإنه يمكن وصفها فى ضوء ما يتم من

إزاحة بالنسبة لنقطة الأصل، وسرعة حركة، وأى تغيير يحدث فى هذه السرعة. وهذا النوع من الدراسة يعرف بالتحليل الكينماتيكى، حيث يتم فيه توصيف الحركة من حيث (الإزاحة والسرعة والعجلة) دون التعرض للقوى المسببة لها أو المؤثرة فيها، وهذا التحليل إما أن يكون خطياً أو دورانياً.

كينماتيكا الحركة الخطية:

المسافة والإزاحة:

إن المسافة التى يتحركها أى جسم مقاسه من نقطة أصل وتسمى بالإزاحة، والإزاحة هنا لا تشير إلى مقدار حركة النقطة من وضع لآخر ولكن تشير إلى التغير النهائى فى موضع النقطة، فعندما يتحرك فرد (A) شمالاً بمقدار ٣ كيلومتر إلى النقطة (B) ثم شرقاً بمقدار ٤ كيلومتر إلى النقطة (C) يكون قد تحرك مسافة مقدارها ٧ كيلومترات، ولكن الإزاحة بالنسبة لنقطة الأصل، تكون ٥ كيلومتر فقط كما هو موضح فى شكل (١٩) السابق الإشارة إليه.

وبنفس الأسلوب، فلاعب كرة السلة الذى يتحرك أماماً وخلفاً وجانبا داخل الملعب، يقطع العديد من المسافات بالنسبة لحدود الملعب. وبغض النظر عن المجموع الكلى لهذه المسافات فإن الإزاحة هنا يحددها نقطة الأصل ونقطة الوصول، فالمسافة بين خط البداية والحفرة النهائية فى رياضة الجولف هى ٤٥٠ ياردة وهى خط مستقيم قد لا تسير فيه الكرة مباشرة إلى الحفرة ولكنها تتحرك فى خطوط متعرجة حتى تصل إليها، وبالتالى فإن إزاحة الكرة هى مسافة لا تزيد عن ٤٥٠ ياردة بغض النظر عن المسارات الأخرى التى تتخذها حتى تصل إلى الحفرة، وهذه الإزاحة تكون جهة الغرب من نقطة الأصل، وكما هى موضحة فى الشكل السابق حيث أن الإزاحة هى ٥ كيلومتر فى الاتجاه الشمالى الشرقى.

من ذلك يتضح أن الإزاحة هى مقدار مسافة محددة الاتجاه فى حين أن المسافة هى مقدار من تغيير الوضع بغض النظر عن الاتجاه، فالإزاحة هى الكمية المتجهة للمسافة.

السرعة:

يستخدم مصطلح السرعة للتعبير عن معدل حركة الجسم، وهناك فرق كبير بين السرعة بمعنى (Speed) والسرعة بمعنى (Velocity) رغم شيوع استخدام المصطلحين للتعبير عن معنى واحد، فالسرعة بمعنى Speed ترتبط بالمسافة ككمية مقياسية للتغيير فى الوضع. فى حين أن السرعة بمعنى Velocity ترتبط بالإزاحة ككمية متجهة، فالمسافة التى يتحركها الجسم فى زمن معين لا تشير إلى اتجاه حركة هذا الجسم فهى تعنى سرعة الجسم بغض النظر عن اتجاهه.

$$\text{السرعة المتوسطة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} = \frac{d}{t}$$

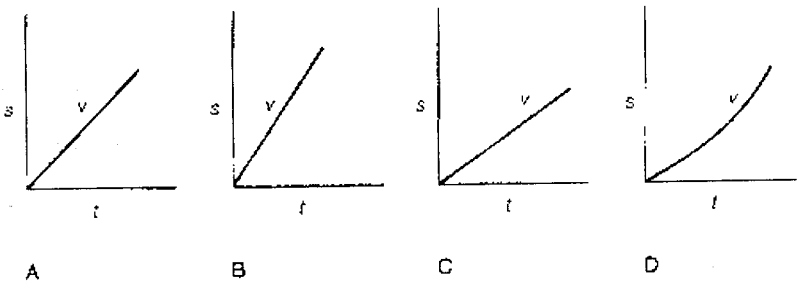
ومثال لذلك، هو حركة سيارة بسرعة ٧ كيلومتر/ ساعة فى حين أن سرعة الريح (٦٠متر/ساعة)، أو حركة كرة تقذف بسرعة (٣٠متر/ث) أو حركة عداء بسرعة (١٠متر/ث).

أما بالنسبة للسرعة بمعنى Velocity فهى تعنى معدل قطع المسافات بالنسبة للزمن بالإضافة إلى اتجاه هذه المسافة أو بمعنى آخر الإزاحة. ففى معظم الأنشطة الرياضية قد لا تكون للسرعة بمعنى Speed أهمية كبيرة بقدر أهمية السرعة بمعنى Velocity حيث أنها فى هذه الحالة سرعة ذات اتجاه محدد وقد يكون الغرض من هذه الأنشطة هو سرعة الوصول إلى الهدف من خلال انجاز إزاحة محددة.

فسرعة لاعب كرة القدم مثلاً قد تكون على درجة كبيرة من الأهمية إلا أن عدم توجيه هذه السرعة فى اتجاه مرمى الخصم قد لا يفيد كثيراً فعلى الرغم من أن السرعة بمفهوم Speed قد تكون عالية إلا أن أهميتها تتناقص، أو قد لا يكون لها أهمية على الإطلاق طالما أنها ليست فى اتجاه الهدف.

وبالتالى فإن السرعة Velocity هى معدل قطع الإزاحة Displacement.

$$\text{السرعة المتوسطة} = \frac{\text{الإزاحة}}{\text{الزمن}}$$



شكل (٢٠) نماذج لعلاقة الإزاحة بالزمن لحركة منتظمة وأخرى غير منتظمة حيث السرعة فى كل من (أ ، ب ، جـ) ثابتة

ويوضح شكل (٢٠) مقادير الإزاحة (S) على المحور (y) ومقادير الزمن موضحة على المحور (x)، وإذا ما تم الإشارة إلى مقادير الإزاحة بالنسبة للزمن المستغرق، فإن الخط المعبر عن هذه العلاقة سوف يشير إلى معدل قطع الإزاحة بالنسبة للزمن، السرعة Velocity (v).

وعندما لا يكون هذا المعدل متغيراً، أى بمعنى أن تتساوى المسافات والاتجاهات فى كل وحدة زمنية، فإن ذلك يعنى أن السرعة ثابتة ويتخذ الرسم شكل الخط المستقيم الصاعد بمعدلات ثابتة كما هو موضح فى الأجزاء أ،ب،جـ، من الشكل. أما فى الجزء (د) من الشكل. فإن الخط المنحنى يعنى أن معدلات قطع الإزاحات غير ثابتة وبالتالى فإن السرعة لا تكون منتظمة، فعندما تزيد الإزاحة بالنسبة لوحدة الزمن، تزيد معها السرعة، كما هو واضح فى انحناء الخط، ويوضح الجزء (ب) السرعة الأكبر فى حين يوضح الجزء (جـ) السرعة الأقل. أما الجزء (د) فإن الإزاحة تبدأ بمعدل بطىء ثم تتزايد. فإذا ما كانت الأجزاء (أ،ب،جـ،د) تعبر عن سرعة عداء فى خط مستقيم فإن الأجزاء (أ،ب،جـ) من الشكل تعبر عن العدو بسرعة منتظمة ولكنها مختلفة من جزء لآخر، حيث يبدو أن السرعة فى الجزء (ب) هى الأكبر، (جـ) هى

الأقل، أما العداء فى الجزء (د) فقد بدأ بسرعة بطيئة مع بداية زيادة معدل قطع الإزاحة بالنسبة للزمن، حتى وصلت السرعة النهائية لما هو أسرع من سرعة العدائين فى باقى أجزاء الشكل.

وعندما تكون السرعة ثابتة كما هو واضح فى أجزاء الشكل (٢٠) (أ،ب،جـ) يقال إن الحركة منتظمة أما عندما يتغير معدل قطع الإزاحة بالنسبة للزمن يقال إن الحركة غير منتظمة.

وغالبا ما يصعب تحقيق حالة انتظام الحركة فى حركات الجسم البشرى، حيث أن معظم حركات الجسم البشرى تتميز بعدم الانتظام فى معدلات قطع الإزاحات بالنسبة للزمن. وعندما نقول إن هذا العداء يجرى بسرعة (١٠متر/ث) فإن ذلك يعنى فقط أن متوسط هذه السرعات المتباينة فى أجزاء الحركة كان (١٠متر/ث)، فلاعب الماراثون الذى يقطع مسافة تزيد عن ٤٢ كيلومتر فى زمن قد يصل إلى ٢,٥ ساعة يجرى بسرعة متوسطة مقدارها (١٦,٨ كيلومتر/ساعة) تقريباً.

ومحاولة معرفة سرعة العداء بشكل أدق تتطلب تقسيم السباق إلى وحدات يتم حساب السرعة فى كل وحدة ويستخدم رسم بيانى يوضح كل من المسافة والزمن المستغرق. ومثل هذا النوع من المعلومات من الممكن أن يستفاد منه فى تحديد استراتيجية العدو فى حدود مسافة السباق وكيفية تنظيم السرعة لتحقيق أرقام أفضل.

ويستخدم التحليل المرئى لحساب السرعات خلال لحظات محددة من الأداء، حيث يمكن الحصول على كل من الإزاحات وأزمنة تحقيقها بشكل غير مباشر من وسيلة التسجيل المستخدمة حيث أن السرعة المتوسطة هى:

$$\frac{S}{t} = \bar{V}$$

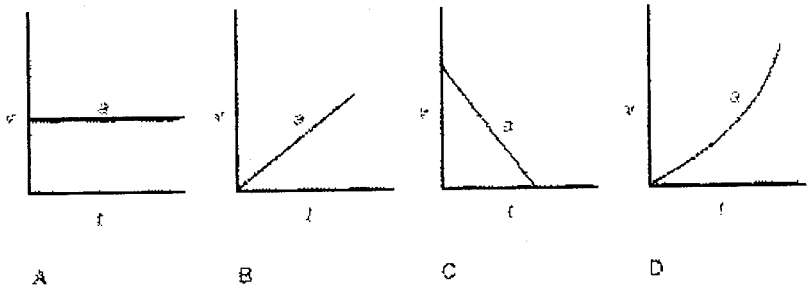
حيث تشير العلامة ($\bar{V}$) إلى السرعة المتوسطة، و(s) إلى الإزاحة، (t) إلى الزمن المستغرق، فالسرعة المتوسطة لكرة التنس فى ضربة الإرسال على سبيل المثال، هى ١٧,٦٩ متر فى ٣٥, ثانية.

أى أنها $\frac{١٧,٦٩م}{٣٥,ث} = ٥٠,٥٤$ متر/ث تقريباً فى اتجاه منطقة الإرسال.

العجلة:

عندما تتغير السرعة، فإن معدل هذا التغيير، يسمى بالعجلة، فلاعب العدو، يبدأ بسرعة ابتدائية من مكعب البدء مقدارها صفر وعند إعلان بدء السباق، تبدأ سرعة العداء فى التزايد، والمعدل الذى تتزايد به هذه السرعة يسمى بالعجلة، وهذا المعدل قد يكون تزايدياً أو تناقصياً عندما تتناقص السرعة، ويشار إلى تزايد العجلة بالإشارة الموجبة (+) وإلى تناقصها بالإشارة السالبة (-).

فعند التعبير عن السرعة مع الزمن فى رسم بيانى يوضح هذه العلاقة، كما هو موضح فى شكل (٢١) نجد أن الخط المعبر عن قيم السرعة بالنسبة لوحدات الزمن يشير إلى العجلة، ففى الجزء (أ) من الشكل نجد أن السرعة لا تتغير وبالتالى لا توجد عجلة، أما فى الجزء (ب) من الشكل، نجد أن العجلة موجبة ومعدلاتها ثابتة أى أنها منتظمة التزايد، بزيادة الزمن، بمعنى أنه كلما زاد الزمن زادت السرعة بمعدل ثابت، أما فى الجزء (جـ) من الشكل فإن العجلة سالبة وبمعدلات منتظمة أيضاً، فمع زيادة الزمن تقل السرعة، بمقادير متساوية فى كل وحدة زمنية، وفى الجزء (د) من الشكل، يشير المنحنى إلى عجلة موجبة ولكنها غير منتظمة التزايد حيث أن معدل الزيادة غير ثابت.



شكل (٢١) نماذج لعلاقة السرعة بالزمن ، حيث (أ) سرعة ثابتة ، (ب) زيادة منتظمة فى السرعة أى عجلة ثابتة، (جـ) تناقص منتظم فى السرعة ، (د) زيادة غير منتظمة فى السرعة.

وبالعودة إلى حالة العداء فى خط مستقيم، سوف نجد أن العداء فى الحالة (أ) يتحرك بسرعة ثابتة على مدى زمن العدو، وبالتالى فلا توجد عجلة أى أن مقدار العجلة يساوى صفر. أما فى الحالة (B) فيبدأ العداء من سرعة مقدارها صفر، ثم يبدأ فى زيادة السرعة بمعدل زيادة ثابت، وقد يحدث ذلك فى بداية السباق، وفى الحالة (جـ) عند نهاية السباق، يحدث تناقص فى السرعة بمعدل تناقص ثابت، حتى تصل السرعة إلى صفر، فى حين فى الحالة (د) يكون معدل تغير السرعة بطىء ثم يبدأ فى الزيادة الموجبة. وبالتالى فإنه يمكن التعبير عن العجلة بالمعادلة:

$$á = \frac{V - U}{t}$$

حيث (á) هى العجلة المتوسطة، (v) هى السرعة النهائية، (u) هى السرعة الابتدائية، (t) هى الزمن فالعداء الذى تتغير سرعته من (٦١,متر/ث) عند نهاية الثانية الأولى من السباق إلى (١,٨٣متر/ث) عند نهاية الثانية الثالثة من السباق يكون قد تزايدت سرعته بمعدل عجلة مقدارها ٦١,متر/ث، فى كل ثانية من الثانيتين الثانية والثالثة من بدء السباق. حيث أن معدل التغير فى السرعة (á) عبارة عن الفرق بين السرعة الابتدائية والسرعة النهائية، (١,٨٣متر/ث - ٦١,متر/ث) مقسوماً على الزمن (٣-١).

وبما أن السرعة عبارة عن إزاحة مقسومة على زمن، وأن العجلة عبارة عن سرعة مقسومة على زمن، فإن هذا يعنى أن العجلة هى إزاحة مقسومة على زمن ثم مقسومة مرة أخرى على زمن وبالتالى فإن وحدات القياس يجب أن تعكس هذه الحقيقة، والتى تظهرها المعادلة التالية:

$$á = \frac{\frac{\text{السرعة النهائية بالمتر}}{\text{ثانية}} - \frac{\text{السرعة الابتدائية بالمتر}}{\text{ثانية}}}{\text{ثانية}}$$

أى أن

$$\text{á} = \frac{\frac{\text{متر}}{\text{ثانية}}}{\text{ثانية}} \qquad \text{أى متر/ث/ث}$$

وبالتالى فإن متوسط العجلة التى تزايدت بها سرعة العداء هى ٦١, متر/ث^{٢}.

وعادة ما ينظر إلى العجلة على أنها تغير فى المسافة المقطوعة فى وحدات زمن متساوية، فالعجلة تحدث عند تغيير الاتجاه رغم ثبات السرعة، ويوضح ذلك المثال المذكور فى شكل (٢١-أ) حيث أن العداء يحافظ على سرعته فى العدو فى الجزء المستقيم من المضمار، أى أن العجلة تساوى صفر، وإذا حافظ العداء على هذه السرعة، عند العدو فى الجزء المنحنى من المضمار، تظهر العجلة، نتيجة لتغيير الاتجاه، وسوف يتخذ الشكل البيانى المعبر عن علاقة السرعة بالزمن الشكل الموضح فى الجزء (ب) من الشكل.

الحركة بعجلة تزايدية منتظمة:

عندما يكون معدل العجلة ثابتاً فإن السرعة تتغير خلال نفس الوحدات الزمنية وفى مثل هذه الظروف تعرف الحركة بأنها حركة منتظمة وهذا النوع من تزايد السرعة بانتظام لا يحدث عادة حيث أن حركات الجسم وحركات أجزاءه غالباً ما تكون غاية فى التعقيد ويصعب حدوث ذلك، إلا أنه يوجد نوع واحد مألوف من الحركة بمعدل عجلة ثابت سواء كان تزايدياً أو تناقصياً، وهو حركات الأجسام الحرة تحت تأثير الجاذبية الأرضية (سقوط الأجسام).

فإهمال مقاومة الهواء، يمكن القول إن الأجسام تسقط من ارتفاعات بتزايد منتظم فى السرعة، أو بمعنى آخر بعجلة تزايدية منتظمة، تحت تأثير فعل الجاذبية كقوى جاذبة لأسفل نحو مركز الأرض، وتحدث عكس هذه الحالة عند انطلاق الأجسام عمودياً لأعلى، وقد اصطلح على أن يكون مقدار عجلة الجاذبية الأرضية مقداراً ثابتاً مهما اختلف مكان تواجد الأجسام على

سطح الكرة الأرضية، ورغم أن هناك اختلافات بسيطة فى هذا المقدار بين مكان وآخر إلا أن علماء الميكانيكا قد حددوا هذه العجلة بمقدار (٩,٨١متر/ث^{٢}) بشكل عام.

وبغض النظر عن حجم أو كثافة الجسم، فإنه فى حالة سقوطه يتحرك تحت تأثير قوى جذب تؤدى إلى زيادة سرعته بمعدل ٩,٨١متر/ث كل ثانية يستغرقها فى السقوط، فالكرة التى يتم إسقاطها بسرعة ابتدائية مقدارها صفر متر/ ث سوف تكتسب سرعة مقدارها ٩,٨١ متر/ ث بعد مرور الثانية الأولى، تزيد إلى ١٩,٦٢متر/ث بعد الثانية التالية، وتزيد إلى ٢٩,٤٣متر/ث بعد الثانية الثالثة وهكذا. وفى حقيقة الأمر لا يحدث لا المعدل بشكل مطلق، حيث أن لمقاومة الهواء دور يجب عدم إغفاله، فالأجسام الأخف وزناً هى الأجسام الأكثر تأثيراً بهذه المقاومة، فالأجسام الخفيفة كريشة الطائر أو حبات الجليد، حيث أنها تتحرك بعد سقوطها تحت تأثير الجاذبية الأرضية عند بداية السقوط، ثم تبدأ بعد ذلك فى السقوط بمعدلات ثابته تقريبا. ويمكن التأكد من حدوث هذه الظاهرة بإسقاط كرتين إحداهما كرة هوكى والأخرى كرة ريشة طائرة من نفس الارتفاع.

وكلما زادت كثافة الأجسام الساقطة من ارتفاعات، كلما قلت درجة تأثير مقاومة الهواء فيها، خاصة عندما تكون مسافة السقوط محدودة، وحتى الأجسام الثقيلة، عندما تسقط من ارتفاعات فإن سرعة سقوطها تولد احتكاكاً بالهواء، يؤثر فى تسارع سقوطها أى فى عجلة زيادة سرعة السقوط. وعندما يحدث ذلك تبدو سرعة سقوط الجسم ثابتة إلى حد ما، وهذه السرعة تعرف بالسرعة النهائية، وتصل إلى حوالى ٥٣,٧متر/ث تقريباً. وهو ما يحدث فى القفز الحر بالمظلات، وتقل هذه السرعة عند لحظة فتح المظلة إلى ٥,٣٧متر/ث.

قوانين الحركة بعجلة تزايدية منتظمة:

بغض النظر على تأثير مقاومة الهواء، فإن هناك العديد من المعلومات التى يمكن التعرف عليها من خلال دراسة قوانين الحركة للأجسام الساقطة بعجلة

تزايدية منتظمة. فنظرا إلى أن عجلة الجاذبية الأرضية ثابتة المقدار والاتجاه، فإنه يمكن التعرف على مسافة السقوط وكذلك سرعة الجسم الساقط فى أى لحظة من لحظات السقوط بالاستعانة بهذه القوانين، والتى تتخذ معادلاتها الشكل التالى:

$$v = u + at \qquad (١)$$

$$s = ut + {}^{1}/_{2}\, at^2 \qquad (٢)$$

$$v^2 = u^2 + 2as \qquad (٣)$$

وقد ساعدت دراسات الفضاء التى قام بها جاليليو للوصول لهذه المعادلات الثلاثة، التى يمكن تطبيقها على حركات الأجسام فى خط مستقيم وبعجلة منتظمة. ويمكن إيضاح تطبيقات هذه المعادلات على سقوط الأجسام وتأثير الجاذبية الأرضية عليها فى جدول (٢) وإذا ما كانت السرعة الابتدائية (u) تساوى صفر متر/ث، والجسم يسقط من ارتفاع محدد فإنه يمكن تبسيط هذه المعادلات لكى تصبح:

$$v = at \qquad (١)$$

$$s = {}^{1}/_{2}\, at \qquad (٢)$$

$$v^2 = 2as \qquad (٣)$$

وقد يستخدم البعض الرمز (g) بدلاً من الرمز (a) للتعبير عن عجلة الجاذبية الأرضية.

ويستغرق الجسم المقذوف للوصول إلى أقصى ارتفاع عمودى نفس الزمن الذى يستغرقه للعودة لسطح الانطلاق كما أن سرعة الانطلاق، تساوى سرعة الهبوط، أى أنه رغم اختلاف الاتجاه يمكن القول أن الهبوط هو صورة عكسية للانطلاق.

ويمكن إثبات تساوى كل من سرعة الانطلاق وسرعة الهبوط رياضياً رغم اختلاف الاتجاه، باستبدال القيم فى معادلات الحركة السابق الإشارة إليها. باعتبار أن السرعة لأعلى فى الانطلاق موجبة الاتجاه وأن السرعة لأسفل فى الهبوط سالبة الاتجاه مع اعتبار عجلة الجاذبية الأرضية سالبة الاتجاه فى كلا الحالتين.

جدول (٢)

تأثير الجاذبية الأرضية على الأجسام الساقطة

الزمن		المسافة $s = ut + \frac{1}{2}at^2$	السرعة النهائية $v = u + at$	متوسط السرعة $v = \frac{u+v}{2}$
النظام المترى				
٩,٨٠ (a)	١ ثانية	٤,٩ متر	٩,٨متر/ث	٤,٩ متر/ث
	٢ ثانية	١٩,٦ متر	١٩,٦متر/ث	٩,٨ متر/ث
	٣ ثانية	٤٤,١ متر	٢٩,٤متر/ث	١٤,٧ متر/ث
	٤ ثانية	٧٨,٤ متر	٣٩,٢متر/ث	١٩,٦ متر/ث
	٥ ثانية	١٢٢,٥ متر	٤٩متر/ث	٢٤,٥ متر/ث

مثال: إذا فرضنا أن كرة قذفت لأعلى بحيث وصلت إلى ارتفاع خمسة أمتار قبل سقوطها، فما هى سرعتها الابتدائية لحظة انطلاقها؟ وما هى سرعتها النهائية لحظة لمس الأرض بعد الهبوط؟

المعطيات

السرعة لأعلى

V = صفر

$a(g) = -٩,٨$

$S = O$

السرعة لأسفل

U = صفر

$a(g) = -٩,٨$

$S = O$

مطلوب حساب (u) السرعة الابتدائية

باستخدام المعادلة رقم (٣) $u^2 = u^2 + 2as$

$u^2 = v^2 + 2as$

$u^2 =$ صفر$^2 + (٢ \times ٩,٨ \times ٥)$

$u^2 = ٩٨$

$u =$ ٩,٩متر/ث

مطلوب حساب (v) السرعة النهائية للسقوط

باستخدام المعادلة رقم (٣) $v^2 = u^2 + 2as$

$v^2 = v^2 + 2as$

$u^2 =$ صفر$^2 + (٢ \times ٩,٨ \times ٥)$

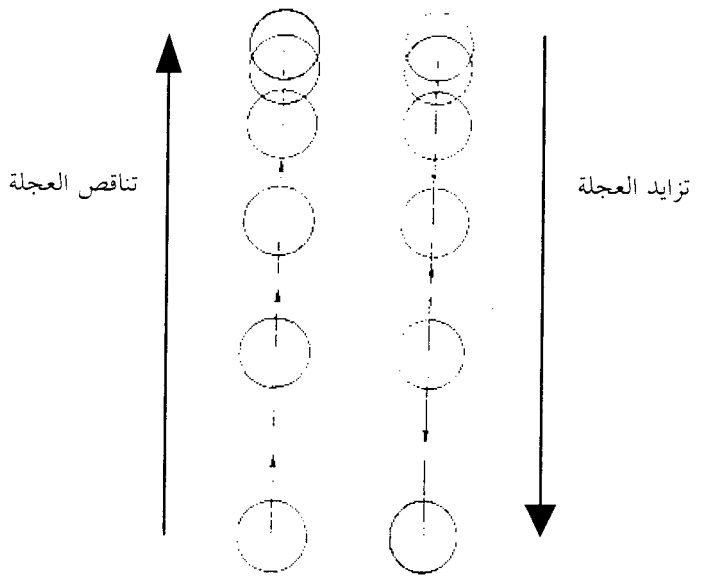
$v^2 = ٩٨$

$v =$ ٩,٩متر/ث

المقذوفات:

• قذف الأجسام رأسياً لأعلى:

عند ترك كرة تسقط من ارتفاع فإنها تتحرك تحت تأثير الجاذبية الأرضية، أما عندما تقذف الكرة رأسياً لأعلى فإنه تتحرك تحت تأثير قوتين إحداهما قوة القذف لأعلى وثانيهما قوة الجذب لأسفل، فالأجسام المقذوفة لأعلى تتحرك بعجلة تناقصية تحت تأثير هذه الجاذبية وبنفس المعدل الذى يحدث فى حالة سقوطها من أعلى، كما هو موضح فى شكل (٢٢) فالكرة المقذوفة لأعلى سوف يكون لها نفس سرعة السقوط والمساوية لسرعة القذف لحظة استقبالها مرة أخرى، فاستمرار تناقص سرعة الجسم المقذوف لأعلى يصل بسرعة هذا الجسم إلى الصفر عند أعلى نقطة يصل إليها، هى اللحظة التى تتعادل فيها قوة السرعة لأعلى مع قوة الجذب لأسفل، وقد يلاحظ أن الجسم فى هذه اللحظة يكون فى حالة سكون، قبل البدء فى الهبوط وكلما زادت قوة قذف الجسم كلما ارتفع لمسافة أكبر، حيث تستغرق سرعة صعوده وقتاً أطول حتى



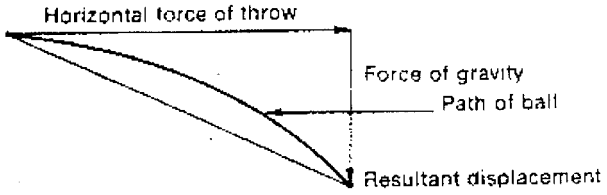
شكل (٢٢) حركة الكرة عند قذفها لأعلى ثم سقوطها لأسفل

تصل إلى الصفر، وبمراجعة الجدول (٢) سوف نجد أن الكرة التى قذفت لأعلى بسرعة ابتدائية مقدارها ٩,٨متر/ث سوف ترتفع بمقدار (٤,٩متر) وسوف تستغرق فى ذلك ثانية واحدة للوصول إلى نقطة السكون، فى حين نجد أنه لو تم قذف الكرة بسرعة ابتدائية مقدارها ١٩,٦متر/ث فإنها سوف تحقق ارتفاعاً قدره ١٩,٦متر وتصل إلى هذا الارتفاع بعد مرور ٢ ثانية. وهكذا فالكرة التى يتم قذفها بسرعة ابتدائية قدرها ٢٩,٤متر/ث سوف تحقق ارتفاع مقداره ٤٤,١ متر خلال زمن مقداره ٣ ثانية. أى أن مسافة القذف وزمن بقاء الكره فى الهواء يزيدان بزيادة السرعة الابتدائية للقذف. ويمثل تحقيق أقصى ارتفاع عمودى عن سطح الأرض أهمية بالغة فى العديد من الأداءات الرياضية كالدورانات الهوائية فى الجمباز وحركات لاعبى الغطس والترامبولين حيث يتيح زمن الطيران الكبير الفرصة لأداء العديد من المناورات الهوائية كالدوران واللف لأكثر من مرة قبل الهبوط.

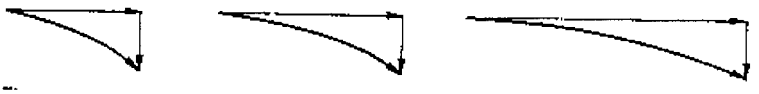
ولعله من المهم أن نتذكر أن الزمن الكلى للطيران هو ضعف زمن الوصول إلى أقصى ارتفاع، أو بمعنى آخر الوصول إلى السرعة صفر فى أعلى نقطة.

• قذف الأجسام لمسافات أفقية:

يحكم حركة الكرة المقذوفة لتحقيق مسافة أفقية، عاملين رئيسيين كما هو الحال فى قذف الأجسام رأسيا لأعلى وهما القوة التى قذفت بها الكرة، وقوة الجاذبية الأرضية، فعند قذف الكرة على هذا النحو تبدأ فى الحركة أفقيا ويتبعها سقوط لأسفل مباشرة فى مسار منحنى حيث يبدأ تأثير الجاذبية الأرضية فور انطلاق الكرة أفقياً، والإزاحة النهائية للكرة هى عبارة عن مجموع متجه الإزاحة الأفقية الناتجة عن قوة القذف بالإضافة إلى الإزاحة الرأسية الناتجة عن الجاذبية الأرضية شكل (٢٣)، ويوضح شكل (٢٤) مسارات كرات مقذوفة من نفس الارتفاع بقوة قذف مختلفة، وبالتالى المسافات الأفقية المختلفة التى حققتها نتيجة لاختلاف السرعات الأفقية للقذف مع ثبات الزمن حيث ($s=v/t$)، فى حين أنه فى كل الحالات سوف



شكل (٢٣)
الإزاحة التى يتحركها
جسم مقذوف أفقياً



شكل (٢٤) مسار الطيران لكرات مقذوفة بسرعات أفقية مختلفة ومن نفس الارتفاع

تتحرك الكرات نفس المسافة الرأسية لأسفل منذ بدء الهبوط والزمن المتاح للجاذبية الأرضية كى تؤثر فى ذلك حيث ($s= {}^1/_2at^2$) علماً بأن العجلة الناتجة عن الجاذبية الأرضية لا تتغير وهى (٩,٨١) متر/ث^2.

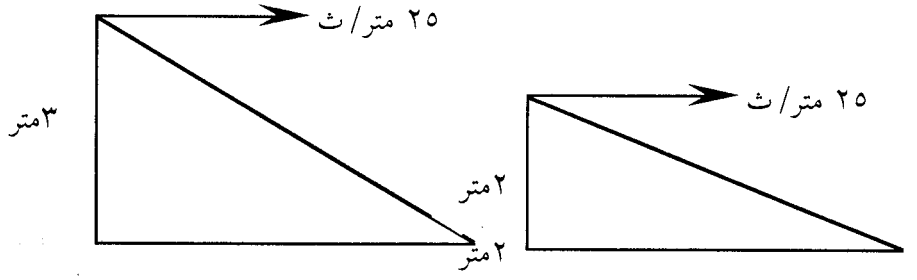
ومن هذا المثال يمكن أن يتضح أن قوة القذف الأفقية وبالتالى سرعة انطلاق الكرة أفقيا مستقلة تماماً عن تأثير قوة الجذب وبالتالى لا تتأثر بالسرعة الرأسية لأسفل. فالسرعة الرأسية ثابتة فى جميع الحالات.

فالقوة الرأسية تؤثر فقط فى المسافة الأفقية التى تتحركها الكرة، وهذا يعنى أنه فى حالة قذف عدة كرات أفقياً من نفس الارتفاع وفى نفس الوقت فإن هذه الكرات سوف تستغرق نفس الزمن فى الهبوط لأسفل ولكنها لن تستغرق نفس الزمن فى الحركة للأمام، وهذه الحالة تختلف عن قذف الأجسام رأسياً لأعلى حيث أن زمن بقاء الجسم المقذوف رأسياً فى الهواء يعتمد على المسافة الرأسية بين ارتفاع قذف الجسم وارتفاع سطح الهبوط حيث ($S={}^1/_2\ at^2$).

فالمسافة الأفقية التى يمكن أن يحققها الجسم المقذوف أفقياً تعتمد على كل من السرعة الأفقية للجسم لحظة القذف والزمن المستغرق حتى الهبوط لمستوى سطح الأرض، فقذف الكرة أفقياً من ارتفاع ثلاثة أمتار عن سطح الأرض وبسرعة أفقية مقدارها ٢٥متر/ث سوف يجعل الكرة تتحرك كمقذوف لمسافة أفقية تصل إلى ١٩,٥متر أفقياً قبل أن تصل إلى الأض، فى حين أن

الكرة التى تقذف بنفس السرعة ولكن من ارتفاع قدره ٢ متر سوف تصل إلى الأرض بعد أن تقطع مسافة مقدارها ١٦ متر فقط.

وزيادة ارتفاع انطلاق الكرة فى الحالة الأولى، أدى إلى زيادة الزمن المستغرق فى الهواء فأتاح الفرصة للسرعة لكى تحمل الكرة إلى مسافة أكبر قبل وصولها لسطح الأرض. ويمكن إيضاح ذلك من المثال التالى:



المعطيات:

s = ٢متر	s = ٣متر
a = ٩,٨متر/ث^{٢}	a = ٩,٨متر/ث^{٢}
v = ٢٥متر/ث	v = ٢٥متر/ث

المطلوب حساب الزمن المستغرق فى الهواء حتى وصول الكرة لسطح الأرض.

باستخدام المعادلة (٢) $S = {}^{1}/_{2}\, at^{2}$ نجد أنه يمكن كتابة المعادلة على النحو التالى:

$$t^{2} = \frac{٢٥}{a}$$

$$t = \sqrt{\frac{٦}{٩,٨}}$$

$$\boxed{\text{٧٨, ث} =}$$ فى حالة ما إذا كان ارتفاع القذف ٣ أمتار.

وأن $t^2 = \frac{25}{a}$

$$t = \sqrt{\frac{٤}{٩,٨}}$$

= ٠,٦٤ ث فى حالة ما إذا كان ارتفاع القذف ٢ متر.

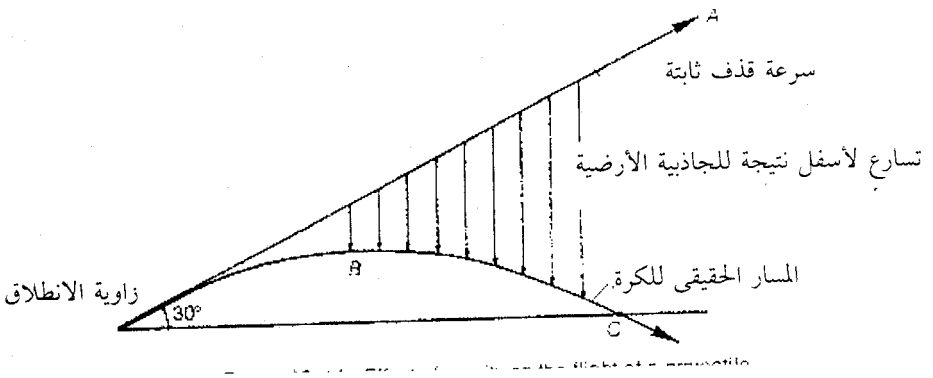
أما بالنسبة للمسافة الأفقية المحققة فإنه يمكن استخدام معادلة السرعة (v=s/t)

وبالتالى فإن S=vt = ٢٥×٠,٧٨ = ١٩,٥متر فى الحالة الأولى

فى حين أن S=vt = ٢٥×٠,٦٤ = ١٦ متر فى الحالة الثانية

قذف الأجسام بميل:

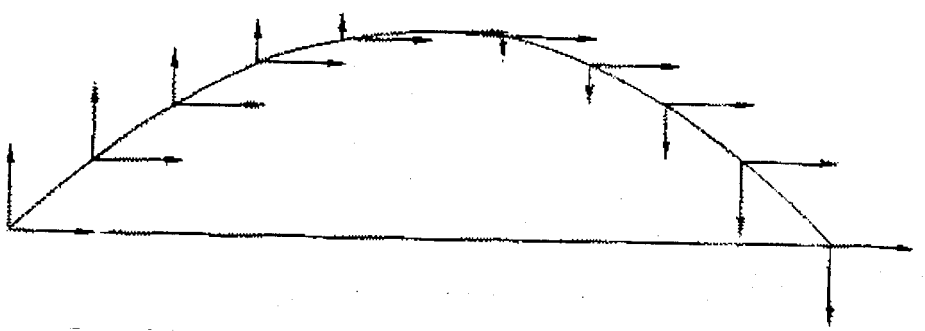
إن قذف الأجسام كالكرات والأدوات المختلفة غالباً ما لا يتخذ مساراً أفقياً أو رأسياً فقط ولكن عادة ما تقذف الكرات والأدوات فى مسارات مائلة، تتخذ زاوية ميل بالنسبة لكل من المحور الرأسى والمحور الأفقى، ففى حالة عدم وجود أى قوة مؤثرة على الكرة أو الأداء بعد انطلاقها فإن ذلك يعنى أنها سوف تستمر فى حركتها متخذة نفس الاتجاه وبنفس السرعة إلى ما لا نهاية، وانطلاق الجسم بزاوية كما هو موضح فى شكل(٢٥) يعنى أن الجسم سوف يتحرك فى اتجاه النقطة (A) إلى أن ما يحدث فى الحقيقة غير ذلك،



شكل (٢٥) تأثير الجاذبية الأرضية على مسار المقذوف

فكما هو الحال فى قذف الأجسام أفقياً، يبدأ الجسم فى السقوط فور تحرره فهو يتحرك لأسفل بسرعة تزايدية، نتيجة لعجلة الجاذبية الأرضية الثابتة ويتخذ مسار طيران يعرف بالقطع المكافىء فعند نهاية (١/٢) ثانية الأولى سوف يكون الجسم قد سقط لأسفل لمسافة ١,٢٢ متر تقريباً بناء على المعادلة ($S=^1/_2\ at^2$) ويصل إلى النقطة (B) وعند نهاية الثانية الأولى، سوف يكون قد سقط لأسفل لمسافة مقدارها (٤,٨٨متر) ويصل إلى النقطة (C) ويمكن الرجوع إلى جدول (٢).

ونظراً إلى أن مثل هذا المسار يرجع إلى وجود مركبتين للسرعة إحداهما رأسية والأخرى أفقية لحظة قذف الجسم فإن مسار الطيران سوف يحدده طبيعة كل من هاتين المركبتين كما هو موضح فى شكل (٢٦) فالمركبة الرأسية للطيران هى ناتج لكل من المركبة الرأسية للسرعة وعجلة الجاذبية الأرضية. وبالتالى فإن السرعة الرأسية ككمية متجهة تتناقص تدريجياً باستمرار الصعود لأعلى حتى تصل إلى الصفر عند أعلى نقطة، ثم تستمر فى التزايد فى الاتجاه العكسى (اتجاه سطح الأرض). بحيث تصل إلى نفس قيمة المركبة الرأسية للسرعة لحظة الانطلاق ولكن عكس الاتجاه، أما بالنسبة للطيران الأفقى والذى تحكمه السرعة الأفقية يبقى ثابتاً حيث لا توجد أى قوى أفقية مضادة، (مع إهمال مقاومة الهواء) وبناءاً على ذلك فإن المسافة الأفقية هى ناتج لكل من السرعة الأفقية وزمن الطيران المتاح.

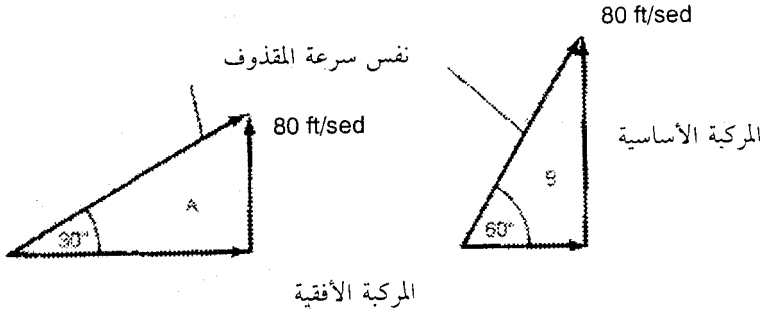


شكل (٢٦) قيم كل من السرعة الأفقية والرأسية اللحظية على مسار حركة المقذوف

• الزاوية الثالثة للطيران:

لقد أوضحنا أن المسافة الأفقية التى يمكن أن يتحركها الجسم المقذوف، تعتمد على كل من السرعة الأفقية للانطلاق وزمن الطيران المتاح، وهذا الزمن يعتمد على الارتفاع الذى يمكن أن يحققه الجسم المقذوف وبالتالى فهو يعتمد بطريقة غير مباشرة على السرعة الرأسية التى يتحرك بها الجسم المقذوف عند تحرره.

وبناءً على ذلك فإنه يمكن القول إن المسافة الأفقية التى يستطيع أن يحققها الجسم المقذوف تعتمد على كل من السرعة الأفقية والرأسية لحظة تحرره ومقادير هاتين المركبتين تعتمد على كل من سرعة الانطلاق وزاوية الانطلاق، ويوضح شكل (٢٧) أن السرعة الابتدائية لانطلاق عدة أجسام واحدة، ولكن الجسم (B) انطلق بزاوية تعادل ضعف زاوية انطلاق الجسم (A) ومن الرسم يمكن استنتاج أن المركبة الأفقية لسرعة الجسم (A) أكبر من المركبة الرأسية للسرعة وهى أكبر أيضاً من المركبة الأفقية للسرعة (B). وعلى العكس فسوف يمكن استنتاج أن المركبة الرأسية للجسم (B) أكبر من مركبته الأفقية للسرعة. وأكبر أيضاً من المركبة الرأسية للسرعة للجسم (A).



شكل (٢٧) تأثير زاوية المقذوف على كل من المركبة السرعة، فمع تناقص الزاوية تزيد المركبة الأفقية والعكس

ويمكن إيضاح ذلك باستخدام قاعدة المثلث قائم الزاوية على النحو التالى:

مثال: الجسم A الجسم B

المعطيات: سرعة الانطلاق ٢٤,٤ متر/ث سرعة الانطلاق ٢٤,٤ متر/ث

زاوية الانطلاق ٣٠ درجة زاوية الانطلاق ٦٠ درجة

المطلوب حساب السرعة الأفقية والسرعة الرأسية فى الحالتين

السرعة الأفقية = ٢٤,٤ × جيب تمام الزاوية ٣٠ = ٢٤,٤ × ٨٦٦,

= ٢١,١٣ متر/ث

السرعة الرأسية = ٢٤,٤ × جيب الزاوية ٣٠ = ٢٤,٤ × ٥, = ١٢,٢ متر/ث

السرعة الأفقية = ٢٤,٤ × جيب تمام الزاوية ٦٠ = ٢٤,٤ × ٥,

= ١٢,٢ متر/ث

السرعة الرأسية = ٢٤,٤ × جيب الزاوية ٦٠ = ٢٤,٤ × ٨٦٦, = ١٢,٢ متر/ث

ويمكن تجربة تأثير زاوية الانطلاق على المسافة الأفقية التى يمكن أن يحققها الجسم المقذوف باستخدام خرطوم المياه، حيث أن تيار الماء من الممكن أن يحقق أقصى ارتفاع له عند وضع الخرطوم فى الوضع العمودى. ولكنه لن يحقق أى مسافة أفقية للأمام، وسوف يبقى الماء فى الهواء لأطول زمن عن أى زاوية أخرى لمقدمة الخرطوم.

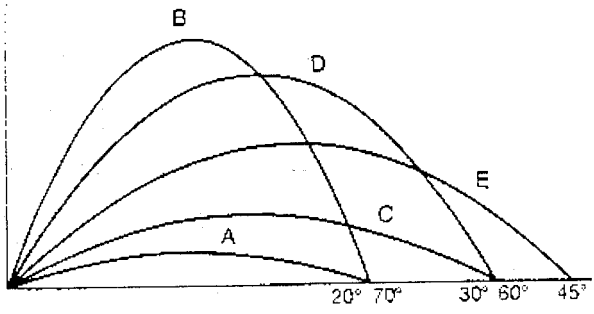
أما إذا تحرك الماء أفقياً فهذا يعنى عدم وجود مركبة رأسية لسرعة اندفاعه وبالتالى لن يحقق تيار الماء أى مسافة رأسية كما أنه لن يحقق أيضاً أى مسافة أفقية رغم وجود مركبة سرعة أفقية فالارتفاع الرأسى مطلوب لكى تبيح زمن طيران يمكن من خلاله تحقيق مسافة أفقية.

أما إذا تحرك الخرطوم بين الزاوية صفر والزاوية ٩٠ فسوف نلاحظ أن تيار الماء سوف يتخذ مسارات تختلف باختلاف زاوية مقدمة الخرطوم. وهذا ما يوضح حقيقة العلاقة بين كل من المركبة الرأسية والأفقية وزاوية الانطلاق.

ويوضح شكل (٢٨) مقارنة بين مسار كرتين (A،B) تم قذفهما بسرعات انطلاق مختلفة، فعلى الرغم من أن الإزاحة الأفقية لكلا الكرتين متساوية فإن الإزاحة الرأسية للكرتين مختلفة، فزاوية انطلاق الكرة (A) هى الزاوية المتممة لزاوية انطلاق الكرة (B). وهو نفس الحال بالنسبة للكرات (C،D)، فزاوية انطلاق الكرة (C) هى ٦٠ درجة والكرة (D) هى ٣٠ درجة فكل من زاويتى الانطلاق سوف تحقق نفس المسافة الأفقية ولكن مسار الكرة (D) أعلى كثيراً من مسار الكرة (C) وبالتالى فإنه سوف يستغرق زمن أطول.

أى أنه يمكن القول إن الزوايا المتممة يمكن أن تحقق نفس الإزاحة الأفقية ولكن الإزاحة الرأسية الناتجة عن الزاوية الأكبر تكون دائماً أكبر، وهذه العلاقة تعنى أنه كلما زاد الفرق بين الزاويتين كلما زاد الفرق فيما تحققه هاتين الزاويتين من ارتفاع رأسى لمسار الطيران.

ويوضح مسار الكرة (E) المسار عندما تكون زاوية الانطلاق ٤٥ درجة وهى الزاوية التى تتساوى عندها المركبتين الأفقية والرأسية وهذه الزاوية تعطى أفضل علاقة بين أطول زمن طيران ممكن وأقصى سرعة أفقية وبالتالى فمن الناحية النظرية يمكن اعتبارها الزاوية المثالية للانطلاق لتحقيق أكبر مسافة أفقية.



شكل (٢٨) تأثير زاوية المقذوف على كل من المركبة الرأسية والأفقية وبالتالى على مسافة المقذوف

ويتحكم فى هذه الزاوية عدة عوامل، بما فيها الهدف المراد تحقيقه، فركل الكرة لأبعد مسافة وتمرير الكرة أعلى من الخصم فى التنس هى نماذج للمسارات (B،D) وتستخدم عندما يكون المطلوب هو تحقيق زمن طيران طويل، ومن ناحية أخرى فإن زيادة زمن الطيران سوف تتيح الفرصة لمقاومة الهواء وسرعة الرياح لكى تغير من مسار الكرة، وبالتالى فإن المسارات (A،C) تعتبر مناسبة لمثل هذه الظروف، بل ويزيد على ذلك أن هناك بعض ظروف اللعب التى تحتم تحقيق سرعة وصول الكرة إلى ملعب الخصم فيصبح المسار (A) أفضل من (B).

وهناك ثلاثة عوامل تحدد مدى حركة الجسم المقذوف، وهى زاوية الانطلاق، وسرعة الانطلاق، وارتفاع نقطة الانطلاق، وكما سبق وأوضحنا فإن الزاوية المثالية للانطلاق هى ٤٥ درجة من الناحية النظرية، لكى يحقق الجسم المقذوف أفضل مسافة أفقية. وهذه الزاوية تعتبر مثالية فعلاً إذا ما توافر كل من انعدام تأثير مقاومة الهواء وتساوى سطحى الانطلاق والهبوط، أما إذا كان سطح الهبوط فى مستوى أقل من سطح الانطلاق كما هو الحال فى قذف الجلة أو رمى الرمح أو رمى القرص أو الإطاحة بالمطرقة، فإن الأمر يحتاج إلى زاوية انطلاق أقل من الزاوية النظرية المثالية، ولكن كيف يمكن تحديد هذه الزاوية؟ هذا هو السؤال.

فى الحقيقة يتدخل عاملين رئيسيين فى تحديد الزاوية المناسبة أولهما هو مقدار الفرق بين ارتفاع نقطة الانطلاق وارتفاع سطح الهبوط، فكلما زاد هذا الفرق، كلما احتاج ذلك إلى زاوية انطلاق أقل لكى تكون الزاوية المثالية، أما العامل الثانى فهو سرعة انطلاق الأداة، ففى حالة ثبات باقى المتغيرات يمكن القول أنه كلما زادت سرعة الانطلاق كلما احتاج ذلك لزاوية انطلاق أقل من ٤٥ درجة، يوضح جدول (٣) العلاقة بين السرعة والارتفاع والزاوية كعوامل مؤثرة فى مسار الجسم المقذوف (دفع الجلة) كمثال لذلك.

جدول (٣)

العلاقة بين سرعة الانطلاق وارتفاع نقطة الانطلاق وزاوية الانطلاق

فى دفع الجلة

ارتفاع نقطة الانطلاق	سرعة الانطلاق					
	٨,٥٤م/ث ٥٣٨	٩,٨م/ث ٥٣٩	١٠,٩٨م/ث ٥٤٠	١٢,٢م/ث ٥٤١	١٣,٤٢م/ث ٥٤٢	١٤,٦٤م/ث ٥٤٢
٢,٤٦ متر	٩,٥٦ متر ٥٣٨	١١,٨٩ ٥٣٩	١٤,٥١ ٥٤٠	١٧,٤٢ ٥٤١	٢٠,٦٣ ٥٤٢	٢٤,١٤ ٥٤٢
٢,٢٩ متر	٩,٤٤ متر ٥٣٩	١١,٧٧ ٥٤٠	١٤,٤٠ ٥٤١	١٧,٢٩ ٥٤١	٢٠,٥٠ ٥٤٢	٢٤,٠٠ ٥٤٢
٢,١٤ متر	٩,٣٢ متر ٥٣٩	١١,٦٤ ٥٤٠	١٤,٢٥ ٥٤١	١٧,١٦ ٥٤٢	٢٠,٣٦ ٥٤٢	٢٣,٨٦ ٥٤٣
١,٩٨ متر	٩,٢٠ متر	١١,٥١	١٤,١٢	١٧,٠٢	٢٠,٢٢	٢٣,٢٣

هذه القياسات لا تشمل مسافة تقدر بحوالى ٣٠ سم مقاسة من حافة دائرة الرمى حتى الخط العمودى الساقط من الجلة لحظة تركها.

ولتحقيق مستوى عالى من الدقة فى تصويب الكرة أو أى أداة، يتأثر أيضاً مسار المقذوف، ففى الرماية بالسهام هناك مسار واحد هو الخط المستقيم بين الهدف ورأس السهم لحظة انطلاقه عندما تكون مسافة الرماية محدودة ولكى يتحقق مستوى الدقة المطلوب فى مسافات الرماية الأطول، يتطلب ذلك توجيه رأس السهم لكى يتحرك فى مسار منحنى مراعياً فى ذلك تأثير الجاذبية الأرضية ومسافة طيران السهم وطول زمن هذا التأثير، وبالتالى تحديد الزاوية المناسبة لانطلاقه.

من خلال هذه المناقشة يمكن الوصول إلى أن تحقيق أكبر مسافة أفقية لرمى الكرة أو الأداة، يعتمد بالمقام الأول على كل من السرعة التى يمكن إكسابها للكرة أو الأداة وزاوية انطلاقها، فقد يتم تحقيق مسافة رمى أقل رغم استخدام سرعة عالية لسوء تحديد زاوية الانطلاق، أو العكس، ونظراً إلى أن زاوية

الانطلاق من الصعب تحديدها وقياسها، فإن قياس سرعة الانطلاق يعتبر مقياساً للأداء المهارى. وبناءاً عليه فإن تحسين سرعة الانطلاق يعتبر من العوامل الأساسية للارتفاع بمستوى الأداء المهارى فى مهارات الرمى بشكل عام.

كينماتيكا الحركة الدورانية (الزاوية):

تتشابه كينماتيكا الحركة الدورانية إلى حد كبير مع كينماتيكا الحركة الخطية أو الانتقالية من حيث أنها تهتم بدراسة كل من الإزاحة والسرعة والعجلة، ووجه الاختلاف بين كلا النوعين هو أن هذه المتغيرات تفسر دوران الجسم ولا تفسر حركته الانتقالية، وعلى الرغم من التشابه الكبير فى المعادلات التى تفسر طريقة حساب هذه المتغيرات إلا أن الوحدات المستخدمة مختلفة.

• الإزاحة الدورانية (الزاوية):

يتكون الجهاز الحركى من مجموعة من الروافع، والتى تتميز بأطراف متماسكة تدور حول محاور المفاصل، وعندما تقع تحت تأثير قوة، وتسمى الحركة الناتجة فى هذه الحالة بالحركة الدورانية أو الزاوية، وفى محاولة لاستخدام نفس وحدات الحركة الانتقالية للإشارة إلى متغيرات الحركة الدورانية سوف نلاحظ أن هناك بعض الاختلافات، فعندما يتحرك الجسم أو الطرف فى مسار منحنى، تختلف الإزاحات الخطية لأجزاءه، فالأجزاء الأقرب إلى محور الدوران تزاح لمسافات محدودة جداً بمقارنتها بالأجزاء الأبعد عن المحور، ففى حركة الذراع من الوضع جانباً إلى الوضع أماماً تتحرك اليد مسافات كبيرة جدا بمقارنتها بالمسافات التى يتحركها المرفق أو أعلى العضد. كما أنه فى حالة استخدام مضرب التنس فى أى مهارة من مهارات هذه الرياضة يتحرك طرف المضرب أضعاف ما يتحركه المرفق من إزاحة.

ويحتاج تفسير الحركة الدورانية إلى استخدام وحدات دوران، وهذه الوحدات لها علاقة كبيرة بوحدات قياس الدائرة، والتى تنطلق من الحقيقة القائلة إن محيط الدائرة، (c) يساوى ٢ط نق ($2\pi r$) حيث ط (π) هى مقدار ثابت قيمته (٣,١٤١٦) ، (r) هى طول نصف قطر الدائرة.

وهناك ثلاثة وحدات تتداخل لحساب الإزاحة الزاوية، هى الدرجة، اللفة أو الدورة revolution ونصف القطر، فالوحدة النصف قطرية تعادل ٥٧,٣ درجة بالتقدير الستينى، واللفة الكاملة أو الدورة الكاملة يمكن تحديدها، أو التعرف عليها من خلال نماذج توضح ذلك كأن نقول أن لاعب الغطس أدى دورة ونصف هوائية مكورة أو دورتين ونصف منحنية وبالتالى فالدورة أو اللفة الكاملة تعادل ٣٦٠ درجة بالتقدير السنينى، أو ٢ ط زاوية نصف قطرية.

كما يمكن تفسير القفزة (دورة ونصف هوائية) بأنها دوران بمقدار دورة كاملة ٣٦٠° بالإضافة إلى نصف دورة (١٨٠°) أو أنها ٣ ط زاوية نصف قطرية. وعادة ما يستخدم التقدير السنينى فى قياس الزاوية، فى حين يستخدم التقدير النصف دائرى، فى الدراسات الفيزيائية، وكلا التقديرين هما الوحدات الأساسية فى تفسير الحركة الدورانية ويستخدم الرمز (θ) فيتا فى التعبير عن الإزاحة الزاوية أو الدورانية.

• السرعة الدورانية أو الزاوية:

يسمى معدل الإزاحة الزاوية أو الدورانية بالسرعة الزاوية أو الدورانية ويرمز له بالرمز (ω) أوميجا والسرعة الزاوية هى مقدار الزاوية التى يتحركها نصف القطر مقسوماً على الزمن المستغرق، أى أنه:

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

وتستخدم وحدات (درجة/ ثانية) لتمييز السرعة الزاوية، أو وحدات الدرجة النصف قطرية/ ثانية، فإذا فرضنا أن لاعب الهوكى يحرك المضرب دورانياً لإزاحة مقدارها (١٤٠ درجة) فى زمن قدره (١,ث) فإن متوسط السرعة الزاوية فى هذه الحالة يكون (١٤٠٠ درجة/ فى الثانية) أو (٣,٨٨ دورة/ فى الثانية) أو (٢٤,٤٣ زاوية نصف قطرية فى/ الثانية) والسرعة فى هذه الحالة تسمى بالسرعة المتوسطة، حيث أظهرت التحليلات التى استخدمت التحليل المرئى أن سرعة المضرب خلال لحظات الأداء المتناهية فى الصغر متفاوتة.

وكما هو الحال فى الحركة الخطية أو الانتقالية، فإن معظم الحركات الدورانية للجسم البشرى غير منتظمة وكلما زاد زمن القياس كلما ظهرت تغيرات كبيرة فيما يمكن قياسه من إزاحات وبالتالى سرعات زاوية. وبناءاً على ذلك فإنه يجب تركيز الاهتمام على السرعة الزاوية فى أى لحظة من لحظات الأداء، ويفضل أن يتم قياس الإزاحة الزاوية على مدى وحدات زمنية صغيرة جداً خلال هذه اللحظة.

وعندما يتم قياس الإزاحة الزاوية الكلية لمضرب الجولف مقاسة من بداية المرجحة لأسفل حتى لحظة اتصال المضرب بالكرة، ومقسومة على زمن حدوثها، فسوف نجد أن السرعة الزاوية للمضرب (٢١٤٨ درجة/ث) أو (٣٧,٥ درجة نصف قطرية/ث) فى حين تكون السرعة اللحظية عند النقطة (A) (١٤٣٢ درجة/ث) وعند النقطة (B) (٢٨٦٤ درجة/ث) مما يؤكد تباين الإزاحات الزاوية على مدى الوحدات الزمنية المتناهية فى الصفر خلال مرحلة مرجحة المضرب لأسفل.

• العجلة الزاوية أو الدورانية:

يعتبر التغير فى السرعة معنى لوجود العجلة فى الحركة الخطية، وبنفس الأسلوب يعتبر التغير فى السرعة الزاوية معنى لوجود العجلة الزاوية أو الدورانية، ويستخدم الرمز (α) ألفا للتعبير عن العجلة الزاوية، التى تمثل معدل التغير فى السرعة الزاوية ويمكن استنتاجها من المعادلة:

$$\alpha = \frac{\omega - \omega}{t}$$

وحيث (ω_v) هى السرعة الزاوية النهاية، (ω_u) هى السرعة الزاوية الابتدائية (t) هى الزمن المستغرق، من الشكل السابق يتضح أن السرعة الزاوية كانت (٢٥ زاوية نصف قطرية/ث) عند النقطة (A) و(٥٠ زاوية نصف قطرية/ث) عند النقطة (B) وأن الزمن المستغرق للوصول بين النقطتين كان

(١١,ث) وبالتالى تكون العجلة بين النقطتين (٢٤١ زاوية نصف قطرية/ ث٢) وهذا يعنى أن السرعة زادت بمقدار (٢٤١ زاوية نصف قطرية/ ث كل ثانية) وهذا فى حالة ما إذا كانت زيادة السرعة منتظمة.

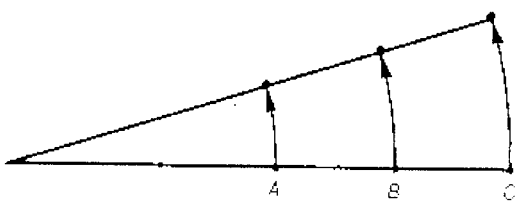
• العلاقة بين الحركة الدورانية والحركة الخطية:

إن دراسة الحركة الزاوية أو الدورانية من خلال التعرف على كل من الإزاحة الزاوية والسرعة الزاوية والعجلة الزاوية تساعد فى فهم وإدراك العديد من المتغيرات التى تفسر حركة الجسم البشرى.

فمع ثبات باقى المتغيرات لا تصل كرة التنس إلى نفس المسافة عند ضربها بأماكن مختلفة من المضرب كما أنها لا تصل إلى نفس المسافة أيضاً عند ضربها والذراع على كامل امتدادها أو مع وجود قبض فى مفصل المرفق.

وفى هذه الحالات يتطلب الأمر بذل قوة أكبر مع زيادة طول نصف قطر المنحنى الذى تتحرك فيه الذراع والمضرب (المسافة بين محور الدوران ونقطة الضرب). حيث أن المد الكامل للذراع يعنى طول نصف القطر وبالتالى زيادة السرعة الخطية لنقطة الضرب، وكما هو موضح فى شكل (٢٩) نجد أن حركة النقطة (A) تتم بإزاحة خطية أقل من النقطة (B)، (C) وبالتالى تتم بسرعة خطية أقل حيث أن كل النقط تدور بمقدار إزاحة زاوية واحدة ولكنها تقطع مسافات خطية مختلفة. فحركة اليد فى تمرين وضع الذراع أماماً من الوضع جانباً تساوى ثمانية أضعاف حركة أعلى العضد فى نفس التمرين رغم أن الذراع ككل قد تحركت نفس الإزاحة الزاوية فى نفس الزمن.

أى أنه يمكن القول إن النقطة (A.B.C) قد تحركت حركة دورانية واحدة فى حين أنها تحركت حركة خطية مختلفة. وهذا يعنى أن السرعة الخطية



شكل (٢٩)
العلاقة بين الإزاحة الزاوية والإزاحة الخطية لثلاث نقاط

للنقط التى تحركت لمقدار إزاحة دورانية واحدة تتحدد بطول نصف القطر وتزيد كلما ابتعدنا عن محور الدوران، وأنه فى حالة ثبات السرعة الزاوية تزيد السرعة الخطية كلما زاد نصف قطر الدوران.

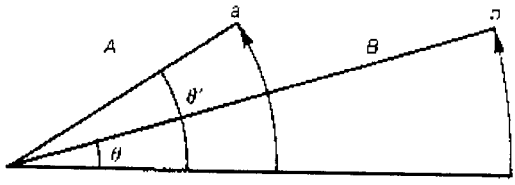
وهذا يعنى أن استخدام اللاعب لنصف قطر دوران أكبر يتيح ميزة توافر سرعة خطية أعلى، إذا لم يؤثر طول نصف القطر على تقليل السرعة الزاوية.

وكلما زاد طول ذراع الرافعة، كلما تطلب ذلك بذل جهداً أكبر لتحريكها، لذا فإن الطول المثالى للرافعة، يعتمد على قدرة الفرد على الاحتفاظ بالسرعة الزاوية المطلوبة للأداء المعين. ولعل استخدام أوزان مختلفة ومواصفات مختلفة لمضارب التنس والهوكى... الخ باختلاف المراحل العمرية لأصدق دليل على ذلك.

أما إذا حدث العكس، أى أنه مع ثبات السرعة الخطية، فزيادة طول نصف قطر الدوران سوف يؤدى إلى تقليل السرعة الزاوية، وبمجرد المشاركة فى حركة دورانية تبقى السرعة الخطية فى نهاية الرافعة ثابتة بناءاً على قانون بقاء كمية الحركة. فنصف قطر الدوران، الدورانات الهوائية من الوضع المنحنى يكون أكبر منه فى الدوران من الوضع المذكور، فى حين يكون فى الدورانات من الوضع المستقيم أكبر من الحالات الأخرى، فإذا ما بدأ لاعب الغطس فى أداء الغطس من الوضع المستقيم ثم قام بعمل وضع التكور، فإن طول نصف قطر الدوران سوف يقل فجأة وبالتالى فإنه نظراً للسرعة الخطية العالية لحظة الخروج من السلم سوف تزيد سرعة الدوران أو السرعة الزاوية.

وتحدث نفس الحالة عندما يؤدى لاعب الانزلاق على الجليد عدداً من اللفات حول المحور الطولى والذراعين فى الوضع جانبا رفع احدى الرجلين جانبا، حيث أنه بتقريب هذه الأجزاء التى تكون سرعتها الخطية عالية نحو المحور الأصلى للجسم تزيد السرعة الزاوية أى سرعة اللف حول المحور الطولى. ولتخفيف هذه السرعة يبدأ اللاعب مرة أخرى فى تبعيد الذراعين ورفع إحدى الرجلين جانباً فيزيد من طول نصف قطر اللف فتقل سرعة اللف تدريجياً.

ويوضح شكل (٣٠) تأثير تقليل طول نصف قطر الدوران مع الاحتفاظ بالسرعة ثابتة عند النهاية البعيدة لنصف القطر.



شكل (٣٠)
زيادة طول محور الدوران يقلل من السرعة الزاوية عند ثبات السرعة الخطية

فتقصير نصف قطر الدوران سوف يؤدى إلى زيادة الزاوية والعكس. فالنقطتين (a.b) على نصفى القطرين A,B تحركتا نفس المسافة الخطية ولكن الإزاحة الزاوية لنصف القطر (A) أكبر من الإزاحة الزاوية لنصف القطر (B)، وإذا كانت إزاحة النقطتين (a.b) قد استغرقت نفس الزمن، فإن السرعة الخطية لهما واحدة فى حين أن السرعة الزاوية مختلفة. حيث أنها أكبر بالنسبة لنصف القطر (A) عن نصف القطر (B).

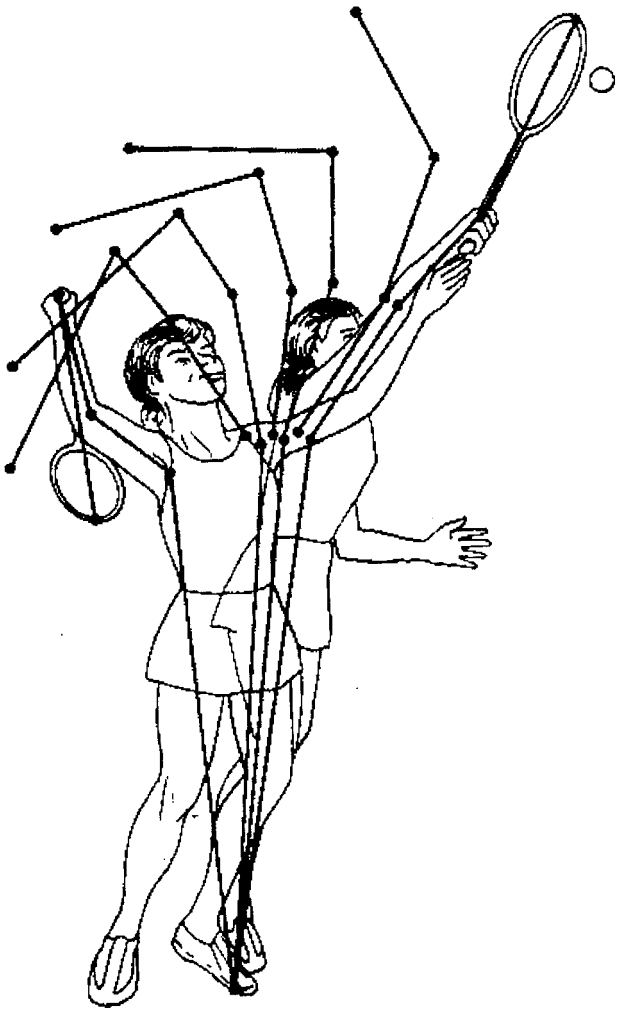
والعلاقة بين السرعة الزاوية (الدورانية) لجسم يتحرك حركة دورانية، والسرعة الخطية عند نهاية نصف قطر الدوران لهذ الجسم، يمكن التعبير عنها بالمعادلة: $v = \omega r$

ولاستخدام المعادلة بهذه الصورة، فإنه يجب التعبير عن (ω) بالتقدير النصف قطرى، أما إذا استخدم التقدير الدائرى فتتخذ المعادلة هذا الشكل:

$$v = \frac{\omega r}{٥٧,٣}$$

وكلا المعادلتين تظهران العلاقة المباشرة بين السرعة الزاوية والسرعة الخطية من خلال طول نصف القطر ففى أى قيمة للسرعة الزاوية تتناسب السرعة الخطية مع طول نصف القطر. أى أنه إذا زاد طول نصف القطر إلى الضعف سوف تتضاعف السرعة الخطية. وفى أى قيمة للسرعة الخطية، تتناسب السرعة الزاوية عكسياً مع طول نصف القطر. فإذا ما زاد طول نصف القطر للضعف

قلت السرعة الزاوية للنصف. ولكى يتم تحقيق أعلى سرعة خطية عند نهاية أى رافعة (الطرف البعيد من المفصل). فإنه يجب أداء الحركة بزاوية أى من نصف القطر أو السرعة الزاوية أو كلاهما كما هو موضح فى شكل (٣١).



شكل (٣١)
الروافع الطويلة ذات السرعات الزاوية العالية تؤدى إلى سرعات خطية عالية عند نهاية الرافعة كما هو الحال فى استخدام مضرب التنس

حالات الحركة الخطية:
طبيعة القوه

تتحرك الأجسام تحت تأثير الشد أو الدفع. بمعنى وقوعها تحت تأثير قوى، فالقوه تنتج الحركة وتوقف الحركة كما تمنعها. فهى تزيد من سرعة

الأجسام كما تقلل منها أو تغير من اتجاهها، فالقوه تنتج شداً ودفعاً لكى تسبب الحركة أو توفر التأثير الكافى لثبات الأجسام، فهى تعرف بأنها التأثير الميكانيكى المتبادل عن طريق الشد أو الدفع الذى يحدث بين الأجسام عن طريق اتصالها أو من خلال قوى طبيعية تعرف بالجاذبية الأرضية.

وقد يكون تأثير القوى داخلياً أو خارجياً، حيث تعرف القوى الداخلية بأنها القوى الناتجة بين أجزاء أى نظام، فى حين أن القوى الخارجية تعرف بأنها القوى الناتجة عن طريق أى أجسام أخرى خارج النظام.

وتؤدى القوى الداخلية إلى تغيير فى الشكل فى حين تؤدى القوى الخارجية إلى إزاحة الأجسام، وفى علم الحركة التطبيقى تعتبر القوى الداخلية عامة هى القوى الناتجة من الانقباض العضلى والتى تعمل على التركيبات المختلفة للجسم، فى حين أن القوى الخارجية هى القوى المؤثرة فى الجسم خارج نطاق تكوينه.

ومن نماذج القوى الخارجية المعروفة الوزن، أو بمعنى آخر قوى الجذب الناتجة عن الجاذبية الأرضية، ومقاومة الريح أو الماء، والاحتكاك، والقوى الناتجة عن أجسام أخرى تعمل على الجسم كقوى الدفع والشد بين المتنافسين فى رياضات المنازلات (ملاكمة ـ مصارعة ـ جودو. . . .الخ).

• خصائص القوه:

إن كيفية التعرف على مدى تأثير القوه فى أى جسم يتحدد بالكمية أو المقدار الذى تؤثر به هذه القوه، كم يتحدد أيضا باتجاه التأثير، ونقطة التأثير التى تتركز فيها القوه. ولكى يتم تحديد خصائص القوه بدرجة عالية من الدقة فإنه يجب الأخذ فى الاعتبار بكل من المقدار والاتجاه ونقطة تأثير القوه كخصائص أساسية، فتغيير أى منهم يغير من طبيعة القوه، وبالتالى من طبيعة الحركة الناتجة عنها، فقوتين مقدار كل منهما ٥٠ باوند عندما تعملان فى نفس الاتجاه وعلى مركز ثقل الجسم، سوف تؤديان إلى حركة خطية، أما إذا أثرت نفس القوتين وفى نفس الاتجاه ولكن من نقطة تأثير غير مركز ثقل

الجسم، فسوف تؤديان إلى دورانه وليس انتقاله خطياً، وفى النهاية فإن الجسم لن يتحرك إذا ما أثرت القوتين فى نفس النقطة ولكن فى اتجاهين متضادين.

وسوف نحاول أن نوضح معنى المقدار والاتجاه ونقطة التأثير فيما سوف نتناوله من أمثلة باعتبار إن القوى الخارجية تتمثل فى الجاذبية الأرضية وأن القوى الداخلية تتمثل فى العمل العضلى.

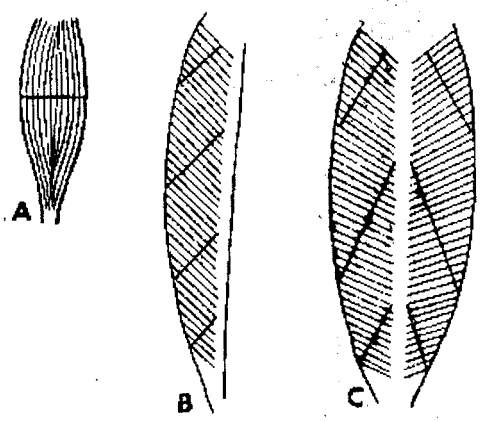
المقدار: أن قوى الجاذبية عبارة عن قوى خارجية، تؤثر فى الجسم البشرى بصفة دائمة فى جميع أداءاته الحركية، وهى القوى التى تعطى معنى الوزن للأجسام، وتقاس بوزن الجسم، فعند مسك الكرة باليد فإن شد قوى الجاذبية يقع على الكرة ونشعر بوزنها، وتبقى الكرة فى اليد طالما أن هناك قوة أخرى مبذولة مساوية فى المقدار ومضادة لقوى الجذب فى الاتجاه، وفى هذا المثال البسيط، تكون القوى المساوية فى المقدار المضاد فى الاتجاه هى القوى الناتجة عن عمل العضلات للاحتفاظ بوضع الكرة. وعند ترك الكرة أى عند اختفاء تأثير القوة المضادة لعمل قوى الجاذبية، سوف تسقط الكرة فى اتجاه سطح الأرض بفعل القوى الخارجية، وهذا يعنى أن وزن الكرة هو مقدار القوة التى تؤثر بها الجاذبية عليها.

ويختلف مقدار القوة التى يمكن أن ينتجها وزن الجسم باختلاف مكانه على سطح الكرة الأرضية، فالأجسام الأبعد عن مركز الأرض، تتأثر بقوى جذب أقل وبالتالى تكون أوزانها أقل فالوزن (w) يساوى (mg) أى كتلة الجسم مضروبة فى عجلة الجاذبية الأرضية وإن اصطلح على أن يكون مقدارها ثابتاً ويعادل ٩,٨١متر ث^{٢} والوحدت الأساسية للقوة (الوزن) هى النيوتن، فالنيوتن هو القوة المطلوبة لرفع كتلة مقدارها ١٠٢, كيلوجرام عند خط عرض ٤٥° وفى مستوى سطح البحر.

ويتناسب مقدار القوة العضلية تناسباً طرديا مع عدد وحجم الوحدات الحركية المنقبضة، وإذا كان الانقباض العضلى يتم بشكل منفرد فى أى أداء حركى لأمكن حساب القوة التى تشارك بها العضلة فى العمل، وبما أن العضلات تعمل دائماً فى مجموعات، فإن القوى العضلية لهذه المجموعة

تقاس ككل وليس بشكل منفرد. فلعله من السهل جداً قياس القوه العضلية القصوى لمجموعة من العضلات من خلال عملها ضد ما يسمى بجهاز الديناموميتر بأشكاله المختلفة، ومن أمثلة هذه القياسات قياس قوة القبضة أو قوة العضلات المادة للطرف السفلى.. وهكذا.

وعلى الرغم من عدم وجود وسيلة لقياس القوى العضلية الناتجة عن عمل عضلة واحدة بمفردها، فإنه يمكن التعرف على قوة العضلة من خلال بعض القياسات الأخرى، ومنها التركيب الداخلى للعضلة، وعدد الكيلوجرامات التى يمكن أن يبذلها السنتيمتر المربع من العضلة، ونعنى بدراسة التركيب الداخلى للعضلة التعرف على التفاصيل التى تساعد فى تحديد مساحة مقطعها العرضى وهى المقطع الذى يمر بكل الألياف العضلية.



شكل (٣٢)
طريقة قياس مساحة
المقطع الفسيولوجى
لثلاثة أنواع من الترتيب
الليفى داخل العضلات

وقد أكدت العديد من الدراسات التى أجريت على التركيب الداخلى للعضلات أن عضلات الجسم تختلف من حيث ترتيب أليافها، فهناك ألياف تتخذ الترتيب الطولى فى بعض العضلات فى حين أنها تتخذ الترتيب المغزلى فى عضلات أخرى والمروحى فى البعض والريشى فى البعض الآخر. وهذا يعنى أن المقطع العرضى فى بعض العضلات ذات ترتيب الألياف الريشى سواء الآحادى أو الثنائى أو المتعدد، قد يخطىء فى المرور بجميع الألياف، وبالتالى فسوف لا يكون مقطعاً حقيقياً للعضلة ويوضح شكل (٣٢) الطريقة

التى يمكن أن تتبع فى عمل المقطع العرضى الفسيولوجى لأنواع مختلفة من العضلات فى ترتيبها الليفى.

وعلى الرغم من كل ذلك فإن تحديد مساحة المقطع الفسيولوجى لا يمكن أن تتم بالدقة الكافية ولكنها تعتبر وسيلة مقبولة لحساب القوه العضلية التى يمكن أن تنتجها أى عضلة بشكل تقديرى.

فإذا فرضنا أن عضلة ريشية التركيب الليفى متوسط وطولها (١٧,٧٨سم) باستثناء طول أوتارها، وأن سمكها ١,٩١سم، وإذا فرضنا أيضاً أنها ثلاثية الريشة أى أن أليافها تتخذ ثلاثة اتجاهات مختلفة وأن قياسات مساحة المقطع الفسيولوجى لكل مجموعة من الألياف كانت على النحو التالى ٧,٦٢، ١٧,١٦، ١٢,٧ فإن مساحة المقطع الحقيقى لهذه تكون عبارة عن (١,٩١سم × [٧,٦٢+١٦,١٠+١٢,٧٠])= ٥٨,٢٢سم^{٢}.

وقد أجريت العديد من التجارب التى استهدفت حساب القوة العضلية التى يمكن أن تنتجها أى عضلة، وقد جاءتنا تجارب فيك Fick أعوام (١٩١٠ـ ١٩٥٩) إحدى أولى التجارب التى أجريت فى هذا المجال، حيث توصل إلى أن المتوسط العام للقوة العضلية التى يمكن أن تنتجها أى عضلة هو عبارة عن (٦ـ١٠كيلوجرام) لكل سنتيمتر مربع من مساحة المقطع العرضى للعضلة، وقد توصل بعد ذلك ركلنجهوزن Recklinghausen ١٩٧٠ إلى أن هذه القيمة تصل إلى ٣,٦ كيلوجرام فقط.

ومن الواضح أن هذه الدراسات قد أجريت على الرجال فقط.

أما دراسة مورس Morris ١٩٤٨ فقد تناولت كل من الجنسين حيث أشار مورس إلى أن القوى التى ينتجها كل سم^{٢} من مقطع العضلة الفسيولوجى هى ٩,٢ كيلوجرام للرجال، ٧,١ كيلوجرام للسيدات.

ويبدو أن الفرق مازال كبيراً بين نتائج هذه الدراسات مما أدى إلى ظهور العديد من الدراسات الحديثة حول نفس الموضوع لا يتسع المجال لذكرها. إلا أن ما يعنينا فى هذا المقام هو تأثير التدريب على زيادة مساحة المقطع

الفسيولوجى للعضلة وبالتالى زيادة القوه العضلية بافتراض ثبات قيمة ما ينتجه كل سنتيميترمربع من قوة.

فإذا فرضنا أن هذه القيمة هى ٩,٥ كيلوجرام لكل سنتيمتر مربع فتكون القوة الكلية للعضلة فى المثال السابق عبارة عن ٩,٥ × ٥٨,٢٢ = ٥٥٣,٠٩ كيلوجرام.

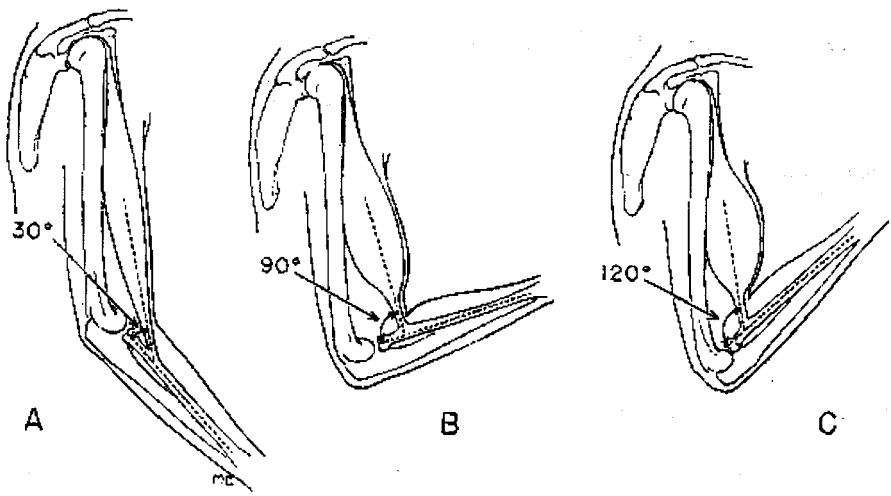
• نقطة التأثير

إن نقطة تأثير القوه هى تلك النقطة، التى تتركز فيها القوة المؤثرة فى الجسم، فإذا ما تناولنا نقطة تأثير الجاذبية الأرضية فسوف نجد أن دائماً هى مركز ثقل الجسم، ولأغراض التحليل يفترض أن نقطة تأثير القوة فى العمل العضلى، هى مركز اتصال العضلة بالعظام المتحركة ويرتبط ذلك بطبيعة اندغام العضلة فى الطرف البعيد عن المحور الأصلى للجسم، باعتبار أن الحركة تحدث فى هذا الطرف، ومن الناحية الفنية فإن هذه النقطة تقع بين اتصال خط القوة ومحور العظمة المتحركة، وهذا المحور ليس بالضرورة أن يمر طولياً داخل حدود العظمة المتحركة فقد يقع جزءًا كبيراً منه خارج حدود العظمة كما هو الحال فى عظام الفخذ، فالمحور الميكانيكى لأى عظمة عبارة عن الخط الواصل بين منتصف المفصل عند طرفى الرافعة.

• الاتجاه

يتحدد اتجاه القوة بخط عملها، فنظراً إلى أن قوى الجاذبية تشد كل الأجسام نحو مركزها، فإن اتجاه عمل هذه القوة يكون عمودياً لأسفل، فاتجاه قوى الجاذبية الأرضية يمثل بمتجه يبدأ من مركز ثقل الجسم ويتجه عمودياً لأسفل.

ويتم تحديد اتجاه القوه العضلية باتجاه شدها، وهذا الاتجاه يمكن تحديده عن طريق حساب زاوية شد العضلة على المحور الميكانيكى للعظمة المتحركة، ويوضح شكل (٣٣) زوايا شد مختلفة للعضلة ذات الرأسين العضدية فى قبض الساعد.



شكل (٣٣) زوايا شد العضلات (أ) زاوية أقل من (٤٥°)، (ب) زاوية مقدارها (٩٠°)، (جـ) زاوية مقدارها ١٢٠°)

• تحليل القوى

نظراً إلى أن القوى بشكل عام هى قيم لها مقدار واتجاه فهى كميات متجهة يمكن التعبير عنها بالرسم عن طريق اعتبار المقدار هو قيمة طول المتجه وأن نقطة التأثير هى النقطة التى تبدأ من عندها القوة وأن اتجاه القوى هو عبارة عن اتجاه الشد بعيداً عن نقطة التأثير، ويحدد الخط المعبر عن المتجه اتجاه القوى، حيث تشير رأس السهم إلى اتجاه القوة كما هو موضح شكل (٣٤).

• زاوية الشد:

كما هو الحال بالنسبة لأى كمية متجهة، فإن القوة يمكن تحليلها إلى مركباتها المتعامدة (رأسياً وأفقياً) وأن نسبة كل من هاتين المركبتين من القوة الكلية تعتمد على زاوية ميل متجه القوة. أما بالنسبة لعمل العضلات فإن زاوية شد العضلة دائمة التغيير بتغير زاوية المفصل المتحرك، وبالتالى فإن مقادير كل المركبة الرأسية والأفقية متغيرة دائماً طالما أن العضلة مستمرة فى الانقباض، وهذا التغيير الدائم فى كلا المركبتين له تأثيرين متزامنين لقوى الشد على الطرف المتحرك، فالتأثير الأكبر يكون للمركبة الرأسية بين الزاوية (صفر إلى ٩٠ درجة) فى حين يكون التأثير الأقل للمركبة الأفقية، وتكون

شكل (٣٤)
متجه القوة حيث
مقدار القوة يعبر عنه
بطول السهم ((أ)،
(ب) هى نقطة
التأثير، (θ) ، هى
زاوية المتجه

مركبة الشد الرأسية عمودية دائماً على المحور الميكانيكى للعظمة المتحركة وتسمى بمركبة التدوير، بمعنى أنها ذلك الجزء من القوة العضلية المسئول عن تحريك الرافعة. فى حين تكون المركبة الأفقية موازية للمحور الميكانيكى للعظمة المتحركة وهى غير مسئولة عن التدوير، وبالتالى فهى لا تشارك فى حركة الرافعة.

وعادة ما تكون زوايا شد العضلات فى وضع الراحة أقل من الزاوية القائمة، كما تبقى لذلك خلال معظم الحركات، وهذا يعنى أن المركبة الأفقية لشد العضلات تعمل دائماً فى اتجاه محور المفصل، مما يحدد دورها فى تحقيق

درجة عالية من ثبات المفصل عن طريق شد العظام المتحركة طولياً فى اتجاه محور المفصل، فتحافظ بذلك على وحده تكوين المفصل.

وتحت كل الظروف فإنه يمكن القول أن للعمل العضلى وظيفتين متزامنتين هما التحريك والتثبيت وأن دور العضلة من خلال مركبتها الأفقية للشد لا يظهر إلا عندما تحدث الحركة، أو فى أى وقت يمكن أن تتعرض له وحدة تكوين المفصل إلى الخلل أو التهديد.

وقد تزيد زاوية الشد عن ٩٠ درجة، وهذا يعنى أن القوة المثبتة تتجه فى عكس اتجاه المحور، وتسمى فى هذه الحالة مركبة الخلع، وهذا الوضع لا يحدث كثيراً وعلى كل حال فإنه إذا ما حدث ذلك تكون العضلة قد اقتربت من طولها وهى فى كامل انقباضها وبالتالى تتوقف تقريباً عن إنتاج قوة جديدة.

وعندما تصل زاوية الشد إلى ٩٠ درجة تكون القوة العضلية كلها قوة محركة وعندما تصل الزاوية إلى ٤٥ درجة تتعادل مقادير المركبتين ونظراً إلى أن زاوية الشد غالباً ما تكون أقل من ٤٥ درجة فإن نسبة كبيرة من القوة العملية تعمل على تثبيت المفصل، وفى الحقيقة هناك بعض العضلات التى تكون زوايا شدها صغيرة جداً، بحيث يمكن إهمال مشاركتها فى التحريك، وعادة ما تكون هذه العضلات فى الطبقات الغائرة من الجسم، ومن أمثلة ذلك العضلة الغرابية العضدية والعضلة تحت اللوح، فالطرف العلوى قادر على أداء الحركات العنيفة القوية كما هو قادر على التغلب على وزن الجسم فى التعلق، والمفصل المسئول عن كلا النوعين من الحركة هو مفصل الكتف والمفصل الترقوى الحلمى ولولا عمل هاتين العضلتين بالتثبيت لسهل خلع الكتف، فعمل هاتين العضلتين يتعاظم فى الشد الطولى فى اتجاه المحور الأصلى للجسم وتثبيت كل من مفصل الكتف والترقوه مع عظام القص.

وسوف نحاول إيضاح تأثير زاوية الشد على مركبة التحريك أو التدوير للعضلة عند زاوية محددة حيث أنه سوف يسهل استيضاح كيفية زيادة مركبة التدوير بزيادة زاوية الشد.

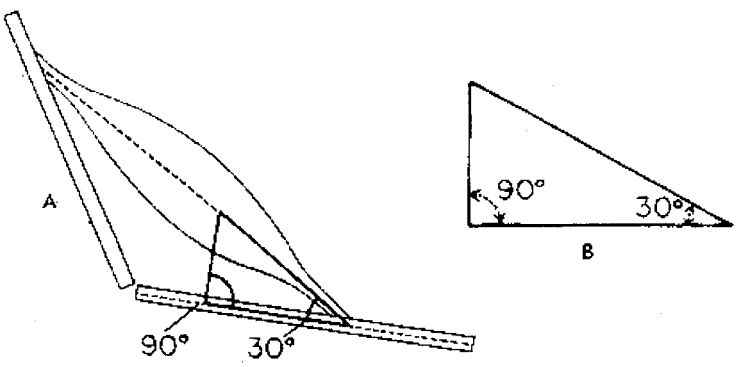
مثال: تبذل عضلة قوة مقدارها ٤٥,٤ كيلوجرام فى لحظة ما بزاوية شد مقدارها ٣٠ درجة فكم تكون مركبة التحريك فى هذه العضلة عند هذه العضلة؟ وكم تكون مركبة التثبيت؟ وكيف تتغير هذه القيم عندما تكون زاوية شد العضلة ١٠ درجة، ٧٥درجة؟ ويوضح شكل (٣٥) هذا المثال.

الحل:

١ـ عندما تكون زاوية الشد ٣٠درجة، يتم رسم مثلث قائم الزاوية بحيث يكون جيب الزاوية ٣٠° عبارة عن $\frac{A}{٥٤,٤}$ وبالتالى فإن المركبة المسئولة عن التدوير (الرأسية) تكون عبارة عن (٥٤,٤×جيب ٣٠°)أى ٢٢,٧ كيلوجرام، فى حين تكون المركبة الأفقية عبارة عن (٥٤,٤× جيب تمام ٣٠°) أى ٣٩,٣٢ كيلوجرام.

٢ـ أما عندما تكون زاوية الشد ١٠ درجات فإن المركبة الرأسية ٧,٨٨ كيلوجرام فى حين تكون المركبة الأفقية ٤٤,١٧ كيلوجرام.

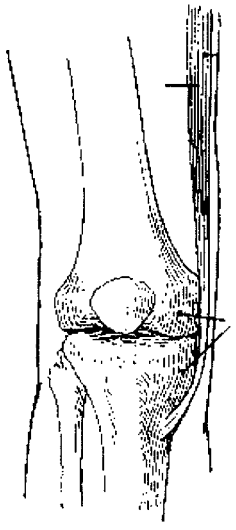
٣ـ وفى حالة ما إذا كانت زاوية الشد ٧٥ درجة، تكون المركبة الرأسية ٤٣,٨٥ كيلوجرام والمركبة الأفقية ١١,٧٥ كيلوجرام.



شكل (٣٥) طريقة استخدام المثلث قائم الزاوية فى تحديد مركبات العمل العضلى بطريقة حساب المثلثات حيث خط شد العضلة يمثل وتر المثلث

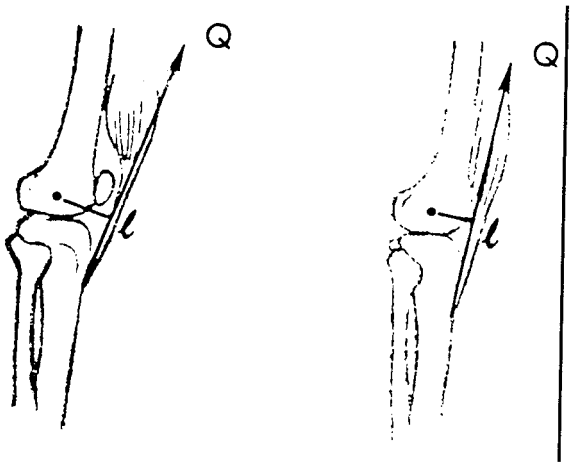
البكرات التشريحية:

سبق وأوضحنا أن هناك بعض العضلات تعمل بزاوية شد صغيرة جداً عندما يكون الجسم فى وضع الراحة، وبدون وجود ما يسمى بالبكرات التشريحية فإن هذه العضلات لا تشارك بشكل فعال فى حركة طرف الرافعة، وتعمل البكرات التشريحة نفس عمل البكرات فى الرافعة الميكانيكية، حيث تؤدى إلى تغيير اتجاه القوة العضلية عن طريق تغيير زاوية شد العضلة المنتجة للقوة، فعلى سبيل المثال، تزيد زاوية شد العضلة الجميلة أو الرقيقة، عن طريق بروز الحدبة الداخلية سواء من أعلى أو من أسفل الركبة وبحيث يمر من فوقها وتر العضلة لتتصل بعظام الساق كما هو موضح فى شكل (٣٦).

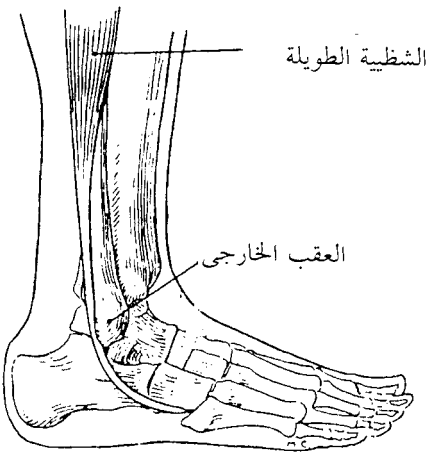


شكل (٣٦)
المدور الأمامى فى مفصل الركبة، حيث يعمل كمدور لزيادة زاوية الشد العضلة الرقيقة (الجميلة)

وتؤدى عظمة الردفة نفس الدور فى تغيير زاوية شد العضلة ذات الأربعة رؤوس الفخذية عند مرورها من أمام مفصل الركبة، كما هو موضح فى شكل (٣٧). فالبكرات أو بمعنى آخر الانتفاخات الموجودة فى نهاية العظام عند تمفصلها تغير من زوايا شد العضلات العاملة عليها، وبالتالى فهى تغير



شكل (٣٧)
زيادة زاوية الشد
الناتج عن وجود
عظمة الرضفة أمام
مفصل الركبة



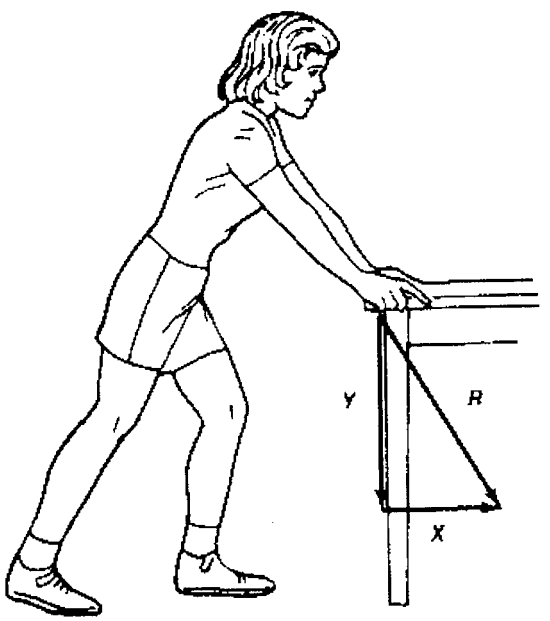
شكل (٣٨)
عمل عظام المطرقة
الخارجية كمدور
لوتر العضلة
الشظية الطويلة

من طبيعة الحركة الناتجة. فكما هو موضح فى شكل (٣٨) نجد أن العضلة الشظيية الطويلة بمرورها خلف العظم المطرقى من الخارج قبل أن تلف أسفل القدم لكى تندغم فى العظم الأسفينى وقاعدة السلامية الأولى، تعمل عند انقباضها على قبض القدم لأسفل بحيث يبتعد السطح العلوى للقدم عن الساق، فإذا كانت هذه العضلة تمر من أمام العظم المطرقى فإن زاوية شدها سوف تنتقل أمام مفصل القدم وسوف يتغير دورها إلى قبض القدم لأعلى، وفى هذا المثال تعمل عظام المطرقة من الخلف كبكرة ثابته.

• تحليل القوى الخارجية

يتم تحليل القوة الواحدة إلى مركباتها بنفس الأسلوب السابق الإشارة إليه فى تحليل العمل العضلى، ويتم فقط عندما تعمل القوة فى اتجاه مائل، فإذا حاولنا دفع قطعة من الأساس، وتم الوقوف بقرب هذه القطعة وبحيث تم دفعها باليدين أماماً أسفل، فإن جزء محدد من القوة المبذولة هو الذى سوف يدفع قطعة الأساس أفقياً للأمام، كما هو موضح فى شكل (٣٩) فالقوة الناتجة عند دفع اليدين تتخذ الاتجاه المائل، وبالتالى فإنه يمكن تحليلها إلى مركبتين متعامدتين (y.x) ويتحدد حركة قطعة الأثاث بمقدار المركبة الأفقية للدفع فقط، إذا ما كان هذا المقدار كافياً لتحريكها، فالمركبة الرأسية للقوة تعمل على دفع قطعة الأثاث فى اتجاه سطح الأرض وبالتالى فإنها سوف تعمل على زيادة مقدار الاحتكاك.

وفى حالة شد أو جر الأجسام يفضل استخدام أحبال طويلة نسبياً حيث أنها تسمح بإمكان توفير مركبة شد أفقية أكبر منه فى حالة استخدام حبال قصيرة.



شكل (٣٩)
الدفع المائل (R) يتكون من مركبتين أفقية (X) ورأسية (Y) للتغلب على حركة المنضدة

• التأثير المركب لقوتين أو أكثر

عادة ما تؤثر أكثر من قوة فى أى جسم، فحركة قارب التجديف هى ناتج القوى المبذولة من حركة المجداف بالإضافة إلى قوة أخرى تتمثل فى قوى الريح، فقد تعمل إحدى القوتين على تحريك القارب شمالاً فى حين تعمل القوة الأخرى على تحريكه غرباً. وحركة الكرة بعد ركلها هى ناتج لكل من قوى الركل والقوى الجاذبة لأسفل، بالإضافة إلى قوى الريح، حتى بالنسبة للعمل العضلى، فقبض الساعد على العضد يتم تحت تأثير عمل أربع عضلات، وقبض مفصل الركبة ويحدث نتيجة لعمل خمس عضلات أو أكثر، وتأثير هذا العمل المركب يؤدى إلى حدوث أو تعديل الحركة ويمكن تقسيمه بناءاً على اتجاهات القوى المؤثرة وما إذا كانت على خط واحد أو متوازية أو مضادة.

• القوى على خط واحد

وهى قوى تعمل فى نفس الاتجاه وفى نفس خط العمل، فإذا ما تم دفع قطعة من الأثاث أفقياً وكانت نقطة تأثير هذا الدفع هى مركز ثقل هذا الجسم، فسوف يتحرك للأمام فى اتجاه أفقى (مع الأخذ فى الاعتبار بعدم وجود قوى إضافية أو مقاومة) وإذا ما عملت قوة أخرى على نفس الجسم وفى نفس نقطة التأثير وفى نفس الاتجاه فإن المحصلة النهائية هى مجموع كل من القوتين حيث ($a + b = c$).

أما إذا عملت إحدى القوتين فى اتجاه عكسى مع ثبات باقى المتغيرات فإن المحصلة النهائية هى المجموع الاتجاهى للقوتين، حيث ($a = c\text{-}b = c$). وهذه الحالة تنطبق على رياضة شد الحبل.

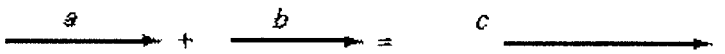
وأمثلة القوى المتعددة التى تؤثر فى نفس نقطة التأثير وفى اتجاه محدد فى الجسم البشرى، هى أمثلة محدودة أو نادرة الحدوث فهناك مثالين منهم عمل كل من العضلتين التوأمية والنعلية على مفصل القدم، وعمل الالييه والحرقفية على مفصل الفخذ، وفى هذين المثالين يجدر الإشارة أن العضلتين لهما وتر واحد عند اندغامهما فى النهاية البعيدة عن المحور الأصلى للجسم.

• القوى المتلاقية فى نقطة واحدة:

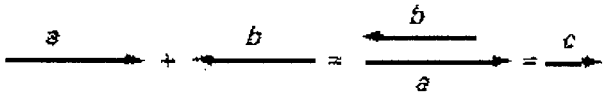
تسمى القوى المؤثرة فى نقطة تأثير واحدة ولكن بزاويا تأثير مختلفة بالقوى المتلاقية ففى العديد من مهارات المصارعة والجودو يعمل كلا اللاعبين على تثبيت اللاعب الآخر أو تحريكه للوضع المناسب لبدء الهجوم وهما فى هذه الحالة تحت تأثير قوى من عدة اتجاهات ولكنها تؤثر فى نقطة واحدة، وكذلك الحال فى رياضة كرة القدم الأمريكية كما هو موضح فى شكل (٤٠) والمحصلة النهائية لعملية المنع أو التثبيت هى عبارة عن ما تناولناه سابقاً فى عملية توحيد المتجهات. ورغم أن هذا الموضوع قد يحدث فى العديد من مواقف المنازلة، إلا أنه غير صحيح فى تفسير العمل العضلى لمعظم العضلات التى تعمل على عظمة واحدة، فهناك أعداد محدودة جداً من العضلات لها نفس نقط الاتصال، وعلى ذلك فإن مبدأ توحيد المتجهات لقوتين أو أكثر مع الأخذ فى الاعتبار بكل من المقدار والاتجاه تعبيراً مناسباً فى حالة التعامل مع القوى المؤثرة فى أجزاء الجسم أكثر من تناسبه للتعامل مع القوى المبذولة ضد أجسام خارجية.

ولكن من المهم أن نتذكر دائماً، أن المقدار المحصل لقوتين أو أكثر من القوى المتلاقية، هو ليس المجموع الحسابى لهم، وأن المتجه المحصل لقوتين متلاقيتين ليس بالضرورة أن يكون فى منتصف الزاوية بينهم إلا إذا كانت القوتين متساويتين فى المقدار.

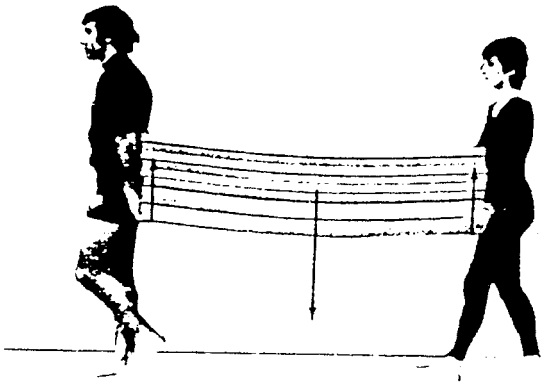
فمحصلة قوتين أو أكثر من هذه القوى تعتمد على كل من مقدار واتجاه كل قوة.



Similarly, if the forces act in opposite directions, the resultant still equals the algebraic sum of the two forces ($a + (-b) = c$). This might be the case in a tug of war.



شكل (٤٠) تمثيل القوى بيانياً



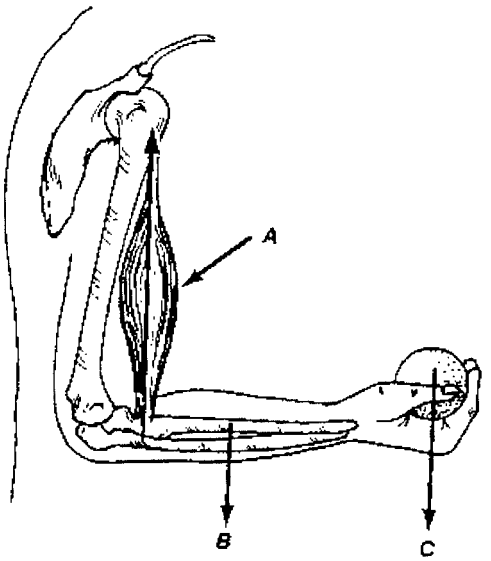
شكل (٤١)
مثال لعمل
القوى المتوازية

• القوى المتوازية:

بالإضافة إلى القوى ذات الخط الواحد، والتى تعمل فيها كل القوى على نفس خط العمل، والقوى المتلاقية التى تعمل على نقطة واحدة مع اختلاف اتجاهاتها، هناك ما يسمى بالقوى المتوازية، وهى قوى ليست على خط عمل واحد، ولكنها متوازية، وتعمل على عدة نقاط فى الجسم، فعندما يتم حمل جسم ما عن طريق شخصين كما هو موضح فى شكل (٤١) فإن كل شخص يبذل قوة تتخذ الاتجاه لأعلى فى حين يؤثر الجسم المحمول بقوة ثالثة فى الاتجاه لأسفل، وفى هذه الحالة يكون هناك ثلاثة قوى متوازية تعمل على الجسم المحمول ولكنها تعمل فى نقط مختلفة.

ومن الأمثلة الأخرى لهذه القوى، مثال حمل ثقل مقداره ٥ كيلوجرام باليد وقبض المرفق بزاوية ٩٠ درجة، ففى هذه الحالة يعمل الثقل بقوة لأسفل كما يعمل وزن الساعد أيضاً بقوة لأسفل وتعمل العضلة ذات الرأسين العضدية بقوة موازية ولكن لأعلى وفى نقطة تأثير مختلفة فتكون هناك ثلاثة قوى متوازية ولكنها مختلفة الاتجاه كما هو موضح فى شكل (٤٢).

وتأثير القوى المتوازية على الجسم الذى تعمل عليه، يعتمد على كل من مقدار واتجاه هذه القوى، ونقطة تأثير كل قوة، فالقوى المتوازية من الممكن أن تعمل فى نفس الإتجاه أو عكس الاتجاه، وقد تكون متعادلة فيحدث التوازن، أو قد تسبب حركة خطية أو حركة دورانية.



شكل (٤٢)
مثال للقوى المتوازية
فى حالة التوازن

ويتم تحديد الحركة النهائية فى ضوء علاقة هذه القوى بمحور تثبيت الجسم أو مكان مركز ثقله إذا كان يتحرك فى الهواء، وفى المثال السابق سوف يتحرك الجسم لأعلى حركة خطية إذا ما بذل الشخصان قوة متوازية تفوق وزن الجسم أما إذا كانت هذه القوى غير متساوية فى المقدار فسوف يدور الجسم حول مركز ثقله فى اتجاه القوة الأقل. وهو ما يسهل ملاحظته عندما يتعب أحد الشخصين فتقل القوه المبذولة من جهة فيدور الجسم فى اتجاهه.

قوانين الحركة لنيوتن:

إن حقيقة حركة الأجسام وارتباطها بالقوة من الحقائق التى لاحظها إسحق نيوتن فى القرن السابع عشر، وبناءاً على ملاحظاته وضع نيوتن ثلاثة قوانين أساسية للحركة حيث تفسر هذه القوانين لماذا يتحرك الجسم على هذا النحو، وعلى الرغم من أن هذه القوانين يصعب إثباتها حتى فى أدق التجارب العلمية، إلا أنها أصبحت قوانين أساسية للحركة مازال الجميع يعتمد عليها ويقرها.

• قانون القصور:

ينص قانون الحركة لنيوتن، على أن أى جسم يستمر فى حالته فى السكون أو الحركة المنتظمة ما لم تؤثر عليه قوة أو قوى غير متعادلة فيتغير من حالته، وهذا يعنى أن الجسم فى حالة السكون يبقى ساكنا، وأن الجسم المتحرك سوف يستمر فى حركته بسرعة ثابتة، وفى خط مستقيم حتى تؤثر فيه أى قوى جيدة، وهاتين الحالتين توضحان حالة الجسم ما لم تؤثر فيه قوة أخرى.

وحقيقة أن الأجسام فى حالة السكون تحتاج إلى قوى لكى تحركها، تبدو واضحة جلية، ولكن فكرة الحاجة إلى قوة ما تغير من حالة حركة الجسم سواء بتقليل أو زيادة سرعته تعتبر أكثر عمقاً وتحتاج إلى قدرة عالية على إدراكها، فإدارك الفرق بين جسم من حالة سكون وتحول إلى حركة هى مسألة لا تحتاج إلى عمليات عقلية معقدة لإدراكها، لأنها تبدو بديهية، أما إدراك عملية التغيير فى حالة حركة الجسم نتيجة لتأثير قوة ما أو مجموعة من القوى غير المتعادلة قد يبدو أكثر تعقيداً.

فميل الجسم إلى البقاء فى حالة حركة، لفترة طويلة، يمكن ملاحظته بسهولة فى التجارب المعملية التى يحاول فيها العلماء تخفيف حدة تأثير كل من الاحتكاك ومقاومة الهواء بهدف عزل هذين المتغيرين وتحييد تأثيرهما على حركة الجسم، ولكن يجدر الإشارة إلى أن تطبيقات هذا الجزء من القانون الأول للحركة، يستحيل ملاحظتها سواء فى الأداءات الحركية العادية أو الرياضية، فالإنسان العادى قد يشعر بذلك عندما يكون راكباً لسيارة أو قطار ثم يتوقف القطار فجأة فيصيبه الخوف من استمرار حركته للأمام رغم توقف السيارة أو القطار.

والخاصية التى تسمح للجسم بالبقاء فى وضع السكون أو الحركة تعرف بالخاصية القصورية، وهى مقاومة الجسم بما يحتويه من مادة للتغيير فى الحالة، ونتيجة لهذه الخاصية، فإن تغيير سرعة الجسم تتطلب توافر القوه، ومقدار هذه القوة يتناسب تناسباً طردياً مع مقدار قصور الجسم. ومقياس

القصور لأى جسم يتمثل فى كتلته، وكلما زادت الكتلة كلما زادت الخاصية القصورية لها، فالكرة الطبية لها قصور يزيد عن كرة السلة أو كرة القدم أو كرة التنس.

• قانون العجلة:

يأتى القانون الثانى لنيوتن ليركز على كل من العجلة وكمية الحركة، وهو يتناول كيفية تفسير العلاقة بين القوة والكتلة والعجلة كما يوضح كيفية قياس هذه القوة، حيث ينص هذا القانون على أن العجلة التى يتحرك بها الجسم تتناسب طردياً مع القوة المسببة لها وفى نفس الاتجاه. وتتناسب عكسياً مع كتلة الجسم.

ولعله من السهل إظهار أن التغير فى السرعة (العجلة) لأى جسم تتناسب مع القوة وفى نفس اتجاهها، فسرعة كرة التنس تعكس القوة التى أثر بها المضرب على الكرة حيث تتحرك الكرة فى اتجاه تأثير القوة. لحظة ضربها. كما أن ايقاف حركة جسم يتحرك بسرعة (١٠متر/ث) تحتاج لقوة أقل مما يحتاجه نفس الجسم لو تحرك بسرعة (١٠٠متر/ث). وفى كلا الحالتين يتناسب معدل التغير فى السرعة طردياً مع مقدار القوه وفى نفس اتجاهها.

وكما سبق وأوضحنا فالكتلة هى مقياس القصور وأنه كلما زادت الكتلة يتطلب ذلك قدراً أكبر من القوة للتأثير فى حالتها وبناءاً على ذلك فالعجلة أو معدل التغيير فى السرعة يتناسب عكسياً مع الكتلة، فكره البولنج تحتاج لمقدار أكبر من القوه لكى تحركها عما تحتاجه كرة التنس.

والعلاقة بين كل من القوة والكتلة والعجلة (تغيير السرعة) يمكن التعبير عنها على النحو التالى:

$$a \propto \frac{F}{m} \quad \text{أو} \quad F \propto ma$$

وقد قام علماء الفيزياء بتعريف وحدات كل من القوه والكتلة والعجلة لاستبدال علامة ($\propto$) بعلامة (=) فأصبح القانون على النحو التالى:

$$a = \frac{F}{m} \qquad F = ma$$

فوحدات القوة هى النيوتن فى حالة ما إذا كانت وحدات الكتلة هى الكيلوجرام ووحدات العجلة هى (متر/ث٢) فى النظام المترى، والسلوج، و(القدم/ ث٢) فى النظام الإنجليزى.

وباستخـدام هذه المعادلة يصبح من السهل تحديد مقدار القوة المطلوبة لإنتاج عجلة خطية لجسم ما، إذا ما كان وزن هذا الجسم معلوماً، وحيث أن الكتلة = $\frac{\text{الوزن}}{\text{عجلة الجاذبية}}$ أى ($F = \frac{W}{g}$) فإنه يمكن كتابة معادلة القوة على النحو التالى: $F = \frac{W}{g}\ a$

فالقوة المطلوبة لتغيير سرعة جسم يزن ٧٢ كيلوجرام بمعدل ٥ متر/ ث تكون $\frac{٩٢}{٩,٨١} \times ٥ = ٣٦,٧$ نيوتن.

• الدفع:

يسمى ناتج القوة فى زمن تأثيرها بالدفع، وفى قانون نيوتن الثانى للحركة، يجب الأخذ فى الاعتبار بزمن تأثير القوة فى الجسم بالإضافة إلى مقدار القوة ومن طرق كتابة معادلة الدفع بالطريقة التالية:

$Ft = m\,(v - u)$ حيث $(v - u)$ هو فرق السرعة فى الحالتين

وهو الدفع الذى يعادل مقدار الكتلة مضروباً فى معدل التغير فى السرعة، والمعادلة الناتجة عن استبدال قيمة العجلة لكى تكون ($\frac{v - u}{t}$) بدلاً من (a) من المعادلة الأصلية ($F = ma$) وبحيث تكون $F = m\ \frac{v - u}{t}$ يحول المعادلة لكى تتخذ الشكل $Ft = m\,(v - u)$

ومن هذا الشكل النهائى للمعادلة، يتضح أن القوة المطلوبة لكى تنتج تغييراً معلوماً فى السرعة، فى زمن محدد تتناسب مع كتلة الجسم وأنه يسهل ملاحظة أنه كلما زاد معدل التغيير فى سرعة جسم معلوم الكتلة فإن ذلك يعنى زيادة الدفع طردياً وإذا زاد أى من الزمن أو القوة، فإن ذلك سوف يؤدى إى زيادة فى معدل التغير فى السرعة، وزيادة قيمة كلاً من المتغيرين (القوة أو الزمن) إلى الضعف يعنى تضاعف معدل التغير فى السرعة.

وتلعب عملية توليد مقداراً كبيراً من الدفع دوراً رئيسياً فى العديد من الأداءات الرياضية، فلاعب الرمح يحاول أن يحرك الذراع الرامية فى أقصى مدى حركى ممكن حتى يقع الرمح تحت تأثير القوة لأطول زمن ممكنة قبل انطلاقة، كما أن لاعب المطرقة يلجأ إلى لف المطرقة وتبعيدها عن المحور الأصلى للجسم قدر الإمكان فى المرحلة السابقة للرمى فيجعل المطرقة تحت تأثير دفع القوة لأطول زمن متاح وهكذا الحال فى رمى القرص ودفع الجلة، وهو ما أشار إليه هوخموث بمبدأ طول مسار العجلة أى بمعنى طول المسار الذى تقع فيه الأداة تحت تأثير القوة.

وعلاقة القوة بالدفع، توضح أيضاً أن القوة الكافية لإحداث التغيير المطلوب فى السرعة لا يمكن أن تتوفر إلا إذا أتيح لها الزمن المناسب، ويفيد ذلك فى توضيح أهمية مرحلة المتابعة لحركة الأداة، فركل الكرة أو ضربة كرة التنس أو الجولف لمسافات بعيدة يعتمد على طول زمن التأثر على الأداة بقوة، وبالتالى كلما زاد هذا الزمن أمكن إحداث التغيير المطلوب فى سرعة الأداة.

• كمية الحركة :

يمكن كتابة صيغة معادلة الدفع على النحو التالى:

$$Ft = mv - mu$$

فناتج ضرب الكتلة فى السرعة سواء (mu أو mv) هو كمية الحركة، وأي تغيير فى كمية الحركة يحتاج بالضرورة إلى قوة وهو يعادل الدفع المسبب له، فكمية الحركة، هى مقدار الحركة، الذى يمكن أن يزيد أو يقل، عن طريق زيادة أو تقليل أى من الكتلة أو السرعة، فلاعب الجلة القادر على دفع الجلة بسرعة عالية، سوف يكسب الجلة كمية حركة عالية لحظة تركها، فمضرب التنس الأكثر وزناً سوف يضرب الكرة بكمية حركة أكبر مما يؤدى إلى حدوث تغيير أكبر فى كمية حركة الكرة لحظة انطلاقها، عنه فى حالة استخدام مضرب أخف وزناً.

وتحدث زيادة فى كمية الحركة، عندما تشارك القوة فى الاتجاه الأصلى للحركة أما تناقص كمية الحركة فهو يعنى أن القوة قد شاركت فى اتجاه عكسى للحركة الأصلية وهو ما يحدث عند استقبال الكرة السريعة بباطن القدم أو أثناء الهبوط بعد أداء إحدى مهارات الجمباز حيث يتم تقليل كمية الحركة حتى تصل إلى الصفر مما يتطلب دفعاً بمقدار يعادل كمية الحركة، وكمية حركة الكرة فى هذه الحالة تكون كبيرة نتيجة لسرعة الكرة فى حين أن كمية حركة لاعب الجمباز تكون كبيرة نتيجة لكتلته، وبالعودة مرة أخرى إلى معادلة الدفع (Ft = mv - mu) فسوف نلاحظ أن زمن الايقاف القليل يتطلب مقداراً أكبر من القوة، وأن زيادة زمن الايقاف سوف يتطلب مقداراً أقل من القوة كتغيير حالة كمية الحركة والوصول إلى الصفر. ويوضح ذلك أهمية زيادة زمن الايقاف بامتصاص كمية حركة الكرة خلال تحريك القدم فى المدى المسموح تدريجياً، وكذلك امتصاص كمية حركة الجسم عند الهبوط بثنى الركبتين تدريجياً.

(فقوة مقدارها ٥ نيوتن تعمل لزمن ٥ ثانية تحدث دفعاً يعادل قوة مقدارها ٢٥ نيوتن تعمل لمدة ثانية واحدة).

• قانون رد الفعل :

يأتى قانون الحركة الثالث لنيوتن، ليفسر عمل القوى بشكل متضاد فالكتاب الموضوع على منضدة ينتج قوة لأسفل تعمل على سطح المنضدة، ونظراً إلى أن الكتاب ثابتاً فى وضعه، فإن هناك قوة أخرى مساوية فى المقدار ومضادة فى الاتجاه للقوه التى يؤثر بها الكتاب على المنضدة، ويشير القانون الثالث لنيوتن إلى أن وجود قوى غير متعادلة يعنى وجود حركة، ونظراً أنه لا توجد حركة فى هذا المثال، فإن ذلك يعنى أن نظام القوى فى هذه الحالة متعادل.

وفى خطوات المشى العادية، تدفع القدم سطح الأرض للخلف، بنفس المقدار الذى تدفع به الأرض القدم فى الاتجاه العكسى، وبدون هذا الدفع العكسي لن تحدث الحركة ويمكن ملاحظة ذلك عند المشى على سطح رملى

حيث يزيد عمق الحفرة الناتجة عن حركة الجزء الأمامى من القدم (الامشاط والأصابع) ولزيادة سرعة المشى يتطلب الأمر زيادة الدفع من الجزء الأمامى من القدم ولهذا السبب استخدمت مكعبات البدء فى العدو، حتى تعمل هذه المكعبات بقوة مضادة لما يبذله العداء من قوة تتحرك للأمام.

وفى جميع هذه الحالات تعمل قوتين متساويتين فى المقدار ولكنها متضادة فى الاتجاه، تسمى إحداهما بقوة الفعل والأخرى بقوة رد الفعل.

وينص القانون الثالث لنيوتن على أن لأى فعل رد فعل مساوى فى المقدار مضاد فى الاتجاه، فأيا كان الحال، فإنه عندما يؤثر جسم بفعل على جسم آخر فسوف يكون لهذا الفعل رد فعل مساوى فى المقدار ومضاد فى الاتجاه وتحدد طبيعة الجسم المسئول عند رد الفعل العديد من العوامل المؤثرة فى مقدار واتجاه هذا الرد، وقد يبدو ذلك واضحاً عند المشى على سطح رملى أو على سطح أسفلتى حيث أن غياب الاحتكاك الكافى بين القدم وسطح الرمل، فإن القوة المبذولة عن طريق القدم (الفعل) سوف تتبدد إلى حد ما فيكون رد الفعل محدوداً.

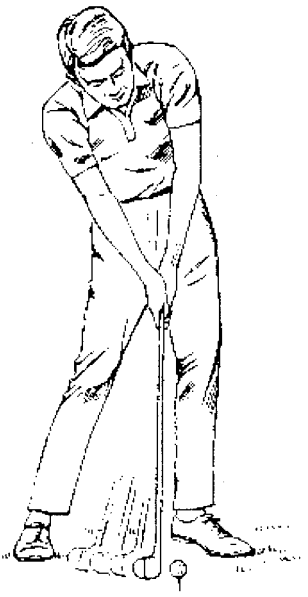
وللتغلب على مشكلة نقص الاحتكاك يستخدم اللاعبين أحذية ذات نعال بمواصفات خاصة تساعد على عدم تبديد قوى الفعل وزيادة مقدار الاحتكاك بحيث تكون ردود الأفعال مناسبة للأهداف الميكانيكية من الأفعال.

ويجدر الإشارة إلى أن جميع حركات الإنسان عن طريق اتصاله بسطح الأرض أو بأى جسم آخر ما هى إلا ناتج لردود أفعال هذه الأجسام على جسم الإنسان.

• بقاء كمية الحركة :

عندما يتحرك جسم ما تحت تأثير قوة فإن كمية حركته (mv) تتغير، حتى يعادل هذه القوة قوة أخرى مساوية فى المقدار ومضادة فى الاتجاه. فكمية الحركة المضادة تنتج دفعاً يعرف برد فعل الدفع المضاد مع الأخذ فى الاعتبار تساوى زمن تأثير القوتين أى الدفعين، (Ft) وهذا يعنى أن :

$$m_2 v_2 - m_2 u_2 = m_1 v_1 - m_1 u_1 .$$



شكل (٤٣)
كمية حركة المضرب
والكرة فى الجولف قبل
ضرب الكرة مباشرة
تساوى كمية الحركة بعد
الضرب

وهذا المبدأ يلخصه مفهوم بقاء كمية الحركة الذى ينص على أنه فى أى نظام تعمل فيه قوتين متساويتين فى المقدار ومتضادتين فى الاتجاه تكون كمية حركته ثابتة. وبناءً على ذلك فعندما يحدث دفعاً بين جسمين تتساوى كمية حركة الجسم قبل حدوث الدفع مع كمية الحركة بعد حدوث الدفع مما يشير إلى بقاء كمية الحركة كما هى ولا يحدث فاقد لهذه الكمية، فكمية حركة كرة الجولف تتغير من صفر إلى أعلى قيمة لها بعد ضربها بالمضرب شكل (٤٣) مع إهمال مقاومة الهواء والاحتكاك حيث أن كمية حركة المضرب أيضاً تتغير بحيث يكون كمية حركته مع كمية حركة المضرب قبل الضرب مساوية لكمية الحركة بعد الضرب أى أن:

$$m_b v_b - m_b u_b = m_c v_c - m_c u_c$$

حيث يشير الرمز (b) للكرة والرمز (C) للمضرب وبالتالى فإن إعادة ترتيب مكونات المعادلة يجعلها تتخذ الشكل التالى:

$$m_b u_b - m_c u_c = m_b v_b - m_c v_c$$

وتسمى هذه الحالة بكمية الحركة المركبة والتى تعادل كمية الحركة السابقة

لاتصال الأجسام، فكميات الحركة لا تفقد وتظل بعد التصادم كما كانت عليه قبل التصادم.

ويسهل ملاحظة بقاء كمية الحركة خلال لحظات معينة، تكون فيها كمية حركة أى من الجسمين صعبة الملاحظة، فعندما يحاول فرد النزول من على زورق إلى الشاطىء سوف يلاحظ أن الزورق سوف يندفع للخلف فى حين يندفع الفرد للأمام خلال خطوة النزول.

فالتغير فى كمية حركة الزورق $(m_1 v_1 - m_1 u_1)$ سوف يعادل كمية حركة الفرد عند حركته للأمام، $(m_2 v_2 - m_2 u_2)$ وهنا يظهر دور الفعل ورد الفعل فى حركة كل من الزورق والفرد. ولكن إذا أديت هذه الخطوة من على إحدى المراكب الكبيرة فسوف لا يظهر بوضوح التغير فى كمية حركة المركب بالنسبة للتغير فى كمية حركة الفرد أثناء نزوله، حيث لا يمكن ملاحظة سرعتها وخلال هذه اللحظة يكون التغير فى (سرعة كتلة جسم الفرد) مساوياً فى المقدار ومضاد فى الاتجاه لحركة المركب وبالتالى سوف يحدث بقاء لكمية الحركة.

القوى التى تغير من الحركة:

هناك العديد من القوى التى يمكن أن يطلق عليها القوى المعدلة للحركة، يجب الأخذ بها فى الاعتبار عند دراسة كيناتيكا الحركة الخطية، وقد صنف فرانسنر Francis ١٩٧٦ سته من هذه القوى فى ثلاثة أنواع رئيسية هى:

١ـ الوزن

٢ـ قوى الاتصال

(أ) رد الفعل الطبيعى

(ب) الاحتكاك

٣ـ قوى السوائل

(أ) الطفو

(ب) القوى الرافعة

(جـ) القوى المعيقة.

هذا بالإضافة إى كل من المطاطية / المرونة ، والارتداد كأنواع أخرى يمكن إضافتها إلى هذا التصنيف.

* **الوزن**: وهى قوة ترتبط بما يسمى بقانون الجاذبية، حيث أن جميع الأجسام تتجاذب نحو بعضها بقوة تتناسب طردياً مع أوزانها، وعكسياً مع مربع المسافة بينها، وكمية هذا التجاذب بين أى أجسام موجودة على سطح الأرض يمكن إهمالها أمام قوة التجاذب بين الأرض نفسها وهذه الأجسام، والسبب فى ذلك ضخامة كتلة الأرض بالنسبة لأى أجسام أخرى، وتقاس جاذبية الأرض للأجسام بوزن هذه الأجسام التى تؤثر فى مراكز ثقلها وتتجه رأسياً لأسفل نحو مركز الكرة الأرضية، وكلما اقترب الجسم من مركز الأرض كلما زادت جاذبية الأرض له وبالتالى زاد وزنه، حيث أنه عندما يتحرك أى جسم بعيداً عن مركز الأرض بالقدر الكافى، كما هو الحال فى الصعود إلى القمر فإن هذه القوة تقل بوضوح، رغم أن كتلة هذا الجسم لا تتغير إلا أن قوى الجذب (الوزن) هى التى تتغير، وعلاقة كل من الوزن والكتلة والجاذبية يعبر عنها بالمعادلة:

$$W = mg$$

وقوة الوزن هى إحدى القوى التى يجب وضعها فى الاعتبار فى تحليل أى حركة.

• قوى الاتصال:

رد الفعل الطبيعى: كما هو معروف بناءً على القانون الثالث لنيوتن، بأن لكل فعل رد فعل مساو فى المقدار ومضاد فى الاتجاه، فإن قوى التجاذب بين الأجسام متساوية ومتضادة وهذا يعنى وجود قوى رد فعل بين أى جسم وسطح الأرض، فلاعب الجمباز عند تعلقه بجهاز العقلة أو الحلق، يقع تحت تأثير شد لأسفل يعادله شد الجهاز نفسه لأعلى، ولاعب الغطس عندما يدفع سلم القفز لأسفل فإن السلم يدفعه لأعلى، وهذا يعنى أنه طالما وجد فعلاً لابد أن يواجهه رد فعل مساوى فى المقدار ومضاد فى الاتجاه، وبدون ردود الأفعال لن تحدث الحركة.

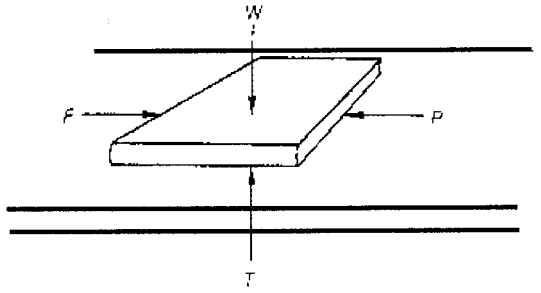
الاحتكاك: إن الاحتكاك عبارة عن قوة تضاد الانزلاق أو الدحرجة بين الأجسام، وبدون الاحتكاك يبدو مستحيلاً إمكانية المشى أو الجرى أو أداء العديد من الحركات، إلا أنه من ناحية أخرى يزيد الاحتكاك من صعوبة حركة الأجسام عندما يمثل هذا الاحتكاك عائقاً للحركة. وهناك العديد من الأمثلة التى يتضح فيها أهمية زيادة الاحتكاك لتحقيق فاعلية أعلى فى الأداء، ومن أكثرها وضوحاً استخدام أحذية ذات مواصفات نعال خاصة وفقاً لنوع الأرضيات كنعال أحذية كرة القدم أو كرة السلة أو ألعاب القوى أو التنس أو الاسكواش. حيث تحسن هذه النعال من علاقة الاحتكاك بين نعل الحذاء والسطح المستخدم فتوفر القدر المطلوب من الاحتكاك لنوع الحركة المؤداة، حتى الأدوات المستخدمة كالكرات صممت بحيث تعمل على زيادة الاحتكاك بينها وبين سطح الأرض كما هو الحال فى طبيعة سطح كرة التنس أو الجولف.

وتقليل الاحتكاك فى كثير من الأحيان يعتبر عاملاً حاسماً فى نجاح الأداء، فحذاء لاعب البولنج يساعد اللاعب على سهولة الانزلاق فى الاقتراب والحد السفلى لحذاء لاعب الانزلاق على الجليد يسهل من حركته وبالتالى يقلل من احتكاكه بسطح الجليد، وكل هذه النماذج تهدف إلى تقليل قوى الاحتكاك إلى أدنى حد بحيث تسهل الحركة.

ويعتمد مقدار الاحتكاك بين أى جسمين على طبيعة السطح والقوى العاملة فى اتجاه اتصال هذين الجسمين.

وبصفة عامة، يمكن القول أن الأسطح الناعمة أقل احتكاكاً من الأسطح الخشنة، ولكن مساحة أسطح الاتصال لا تؤثر على مقدار الاحتكاك.

وتعمل قوى الاحتكاك فى اتجاه موازى للأسطح المتصلة ببعضها ومضادة لاتجاه الحركة، ويوضح شكل (٤٤) إن الكتاب يضغط على المنضدة لأسفل بالقوة (w) والتى تعادل وزنه ورد فعل المنضدة (T) يعمل لأعلى ضد وزن الكتاب، والقوة المطلوبة لكى يصبح الكتاب فى حالة حركة (أ) يقابلها قوة (F) تعمل على مقاومة حركة الكتاب وهنا تكون القوة (F) مساوية للقوة (P) ومضادة لها فى الاتجاه، ونسبة القوة المطلوبة للتغلب على الاحتكاك لإحداث



شكل (٤٤)
معامل الاحتكاك وهو نسبة بين القوة المطلوبة لإحداث الحركة (P) أى التغلب على الاحتكاك إلى القوة التى تعمل على اتصال سطحى الجسمين (W).

الحركة، إلى القوة التى تعمل على ثبات أسطح الاتصال تعرف بمعامل الاحتكاك (μ) حيث أن معامل الاحتكاك يساوى ($\frac{p}{w}$) وهذا المعامل يشير إلى الاحتكاك الابتدائى بين السطحين ويمكن حسابه معملياً بالنسبة للأسطح المختلفة.

ومعامل الاحتكاك (μ) هو مقدار ثابت بين أى سطحين، ويزيد هذا المعامل، بزيادة التصاق الأجسام ببعضها، فى حين يقل كلما كان انزلاق أسطح الأجسام على بعضها أسهل، فإذا كان مقدار معامل الاحتكاك (صفر) فإن ذلك يعنى أن هذه الأسطح عديمة الاحتكاك، فى حين أن هذا المعامل يعتمد كليًا على قوة جذب الأسطح (w) والقوة المطلوبة لوضع هذه الأجسام فى حالة حركة (p) ويقل هذا المعامل بتناقص القوة (p).

ويمكن التغلب على الاحتكاك بتغيير كل من سطح الاتصال أو القوة المحركة، فإذا ما حاولنا تحريك جسم ما عن طريق دفعه بقوة تتجه بميل لأسفل، فإن المركبة الرأسية من هذه القوة سوف تزيد من اتصال الأسطح ببعضها وبالتالى سوف يزيد الاحتكاك، فيزيد مقدار القوة المطلوبة لتحريك الجسم، ومن ناحية أخرى إذا ما اتجهت القوة المحركة بميل لأعلى فسوف تعمل المركبة الرأسية لهذه القوة على تخفيف وزن الجسم وبالتالى تخفيف الاحتكاك بين الأسطح، فيسهل تحريك الجسم.

واحتكاك البداية، هو الاحتكاك الذى يقاوم بداية الحركة ويكون دائماً أكبر من احتكاك الانزلاق وهو الاحتكاك الذى يقاوم استمرار الحركة الذى

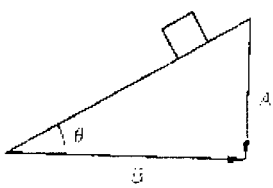
يتطلب قوة أقل لاستمرار انزلاق الجسم، ويقل الاحتكاك بزيادة السرعة ولكن مع السرعات العالية جداً يزيد الاحتكاك بمعدل كبير حتى ترتفع درجة الحرارة.

وبما أن احتكاك الانزلاق دائماً يكون أقل من احتكاك البداية، فإن احتكاك الدحرجة يكون أقل كثيراً من احتكاك الانزلاق، فتحريك الأجسام الثقيلة يتم بسهولة إذا ما استخدمت العجلات، وكما هو الحال فى احتكاك الانزلاق فإن احتكاك الدحرجة متغير بتغير طبيعة الأسطح، ومقدار القوة الجاذبة بين السطحين، كما أن دحرجة الأجسام تكون أسهل على الأسطح المنتظمة الخشنة عنه فى حالة الأسطح الناعمة غير المنتظمة، فالاحتكاك المرتبط بالدحرجة يزيد فى حالة زيادة سمك وارتفاع طبقة الحشيش فى ملعب الجولف عما هو عليه إذا ما كانت طبيعة السطح جافة وسمك وارتفاع الحشيش أقل.

ومعامل الاحتكاك بين جسمين يمكن التعرف عليه عن طريق وضع الجسمين على بعض وميل أحد الجسم حتى يبدأ الجسم الآخر فى الانزلاق، وظل زاوية الجسم الثانى مع المستوى الافقى يعبر عن معامل الاحتكاك كما هو موضح فى شكل (٤٥).

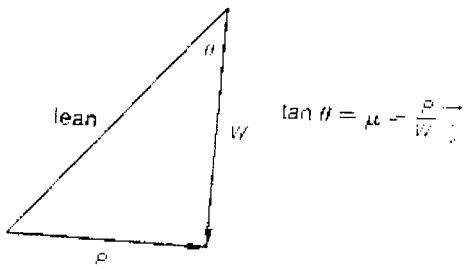
وقد تناول «بون Bunn» ١٩٧٢ معامل الاحتكاك لنعل حذاء لاعب كرة السلة بمقدار الميل الذى يمكن أن يؤديه اللاعب دون انزلاق عن الخط العمودى والذى يمكن حساب الميل عن طريق ($\frac{P}{W}$) حيث (P) هى مقدار القوة الأفقية المطلوبة لبدء انزلاق القدم أفقياً و(W) هى وزن اللاعب شكل (٤٦).

والجذاء الذى يسمح بدرجة ميل أكبر من المؤكد أنه هو الأفضل للاستخدام، ولكن مع الأخذ فى الاعتبار بنوع السطح المستخدم.



$\tan \theta = \mu$

شكل (٤٥)
استخدام سطح مائل فى حساب معامل الاحتكاك بين جسمين



شكل (٤٦)
دور معامل الاحتكاك فى إمكانية ميل اللاعب أثناء الأداء على الأسطح المختلفة

المطاطية والارتداد :

ترتد الأجسام باتصالها ببعضها بطبيعة خاصة تحددها درجة مطاطية هذه الأجسام وكتلها وسرعة اتصالها ببعضها والاحتكاك بين أسطحها وزاوية اتصالها ببعضها.

وعندما تتصل الأجسام ببعضها يحدث تغيير لحظى فى الشكل حيث أن هذا التغيير بشكل أو بآخر يعتمد مبدئياً على مطاطية أسطح الاتصال، والمطاطية هى القدرة على مقاومة التغيير فى الشكل أو الاعوجاج أو التشوه والعودة إلى الحالة الأصلية بعد زوال تأثير الاتصال. وتسمى القوة المؤثرة فى الجسم والتى تعمل على تغيير مشكلة الجهد (Stress) أما ما يحدث من تغيير فيسمى بالاجهاد strain ويتناسب مع الجهد، وقد يتخذ الجهد شكل الشد أو التوتر tention، كما هو الحال فى شد العضلة، أو الانضغاط compression كما هو الحال فى اندماج كرة التنس أو القبض Flexion كما هو الحال فى قبض العضلات أو اللف torsion كما هو الحال فى لف الياى أو السوستة. وفى جميع هذه الحالات، يعود الجسم إلى حالته الأصلية بعد زوال المؤثر.

وإذا ما كان الجهد كبيراً، بما يفوق حد المطاطية فسوف يؤدى ذلك إلى اعوجاج أو تشوه الجسم.

معامل المرونة:

تختلف الأجسام والمواد فى قدرتها على مقاومة التغير فى الشكل وفى قدرتها على العودة لحالتها الأصلية بعد زوال الإجهادات التى تؤثر فيها،

وينظر إلى بعض المواد على أنها عالية المطاطية ومنها على سبيل المثال الكاوتشوك ولكن حقيقة الأمر، أن المواد التى يصعب تغيير شكلها تحت تأثير الإجهادات المختلفة، والقادرة على العودة إلى حالتها الأصلية هى مواد أكثر مطاطية، أى أن مفهوم المطاطية فى أذهان البعض معكوساً، من أمثلة ذلك الغازات والسوائل.

وعند المقارنة بين المواد المختلفة من حيث مطاطيتها، يستخدم ما يسمى بمعامل المطاطية فهذا المعامل والذى يطلق عليه الاسترجاع Restituition يعرف بأنه ناتج الجهد على الإجهاد.

ويستخدم هذا المعامل فى المجال الرياضى عادة فى مناقشة القوى التى تؤثر فى تغير شكل الكرات، فإذا ما إسقطت كرة على سطح متماسك كسطح الأرض مثلاً، فإن معامل الاسترجاع يمكن حسابه عن طريق مقارنة كل من ارتفاع السقوط مع ارتفاع الارتداد بالمعادلة التالية:

$$e = \sqrt{\frac{\text{ارتفاع الارتداد}}{\text{ارتفاع السقوط}}}$$

حيث (e) هى معامل المرونة أو الاسترجاع، أو الارتداد وكلما اقترب هذا المعامل من الواحد الصحيح فإن ذلك يعنى مرونة عالية، وقد استخدمت هذه الظاهرة فى اختيار أنواع الكرات المختلفة فى المسابقات المختلفة ومنها على سبيل المثال، لا تعتبر كرة السلة صالحة للمباريات إلا إذا ارتدت لارتفاع (١٢٤,٥سم - ١٣٧,٥سم) عند إسقاطها من ارتفاع (١٨٣سم) وهذا يعنى أن معامل ارتدادها هو (,٨٦٦).

فى حين أن الكرة الطائرة ترتد إلى (١٢٩,٥سم) إذا ما اسقطت من نفس الارتفاع ويكون معامل ارتدادها (,٨٦) وأن كرة التنس لها معامل ارتداد (,٧٣).

ويمكن حساب معامل الارتداد أو الاسترجاع بطريقة أخرى، تعتمد على قانون بقاء كمية الحركة، الذى ينص على أن كمية الحركة للدفع بين جسمين

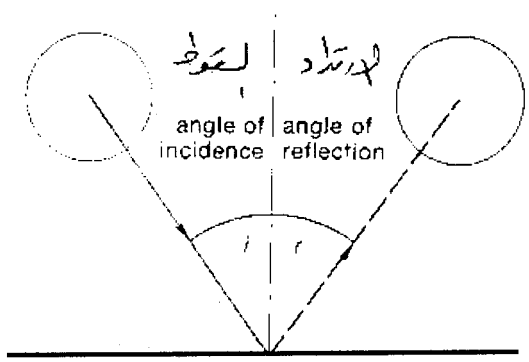
تبقى. كما هى قبل وبعد التصادم، ورغم أن كمية حركة أى من الجسمين قد تقل فإن كمية حركة الجسم الآخر تزيد بنفس النسبة وبالتالى:

$$e = \frac{V_2 - V_1}{U_1 - U_2}$$

حيث (V_1 , V_2) هى سرعة الجسمين قبل التصادم (U_1 , U_2)، هى السرعة بعد التصادم.

زاوية الارتداد:

عند إسقاط جسم مرن من ارتفاع عمودياً لأسفل فسوف يؤثر السطح على هذا الجسم بشكل منتظم فيؤدى إلى ارتداده عمودياً لأعلى، أما إذا ما تم إسقاط الجسم بميل فسوف يرتد أيضاً بميل، وتعتمد زاوية الارتداد على مرونة الأجسام عند اتصالها، والاحتكاك بين أسطحها، والأجسام عالية المرونة ترتد بزاوية ارتداد أقرب ما يكون لزاوية السقوط، ويمكن أن يطبق عليها مبدأ انعكاس الضوء، (زاوية السقوط = زاوية الارتداد) ويوضح شكل (٤٧) هذا المبدأ، وتعتبر هذه الحالة مثالية، ويقاس بالنسبة لها أى إنحراف حيث أن هذا الانحراف يمثل ما يسمى بمعامل الاسترجاع الذى يختلف باختلاف المتغيرات السابق الإشارة إليها.



شكل (٤٧)

تساوى زاوية السقوط

وزاوية الارتداد

وبصفة عامة فإن معامل الاسترجاع المنخفض سوف يؤدى إلى زاوية ارتداد أكبر من زاوية السقوط، فعلى سبيل المثال، سوف ترتد كرة السلة أو الكرة الطائرة، بزاوية قريبة من السطح عند زاوية سقوطها إذا ما كانت غير ممتلئة بالهواء بشكل كاف. حيث يؤثر الاحتكاك على المركبة الأفقية ويقللها.

وهذا يعنى أن تناقص المركبة الأفقية، يرتبط بمعامل المرونة ويحدث بالنسبة لتناقص المركبة الرأسية حيث أنه على الرغم من أن السرعة المحصلة للارتداد سوف تكون أقل من السرعة الابتدائية فإن زاوية الارتداد سوف تساوى زاوية السقوط.

تأثير اللولبة فى الارتداد :

تتأثر زاوية ارتداد أى كرة أيضا بما يسمى باللولبة أو دوران الكرة السريع حول مركزها، فالكرات المقذوفة بأعلى درجة من اللولبة تزيد بسرعة أفقية عالية تفوق السرعة الافقية التى قذفت بها كما أنها تميل إلى الدحرجة أكثر من ميلها إلى الارتداد، وهو ما يحتاجه الأمر فى العديد من الرياضات ومنها التنس والجولف وتنس الطاولة، فالكرات التى تقابل السطح وهى فى حالة لولبة خلفية، يكون ارتدادها أعلى وتكون بطيئة إلى حد ما، كما أنها تتدحرج لمسافات أقصر عنه فى حالة الكرات المقذوفة بلولبة أمامية (top spin) أو حتى الكرات العادية.

ونظراً لانضغاط الكرة ودور الاحتكاك بين سطحها وسطح الأرض، فإن الكرات المقذوفة بشكل عادى تصطدم بسطح الأرض بزاوية تساعد على توليد لولبة أمامية خلال الارتداد، أما الكرات المقذوفة بلولبة أمامية فإنها سوف تزيد من لولبتها الأمامية أثناء الارتداد.

أما فى حالة اللولبة الخلفية فقد تتوقف تماماً عند اصطدام الكرة بالأرض وقد تتحول إلى العكس فى الارتداد.

والكرات المقذوفة بلولبة جانبية سوف ترتد فى اتجاه اللولبة. فالكرة التى تتحرك تجاه اليمين عن طريق اللولبة سوف تستمر فى حركتها جهة اليمين بعد الارتداد، والعكس.

وعندما تقابل الكرات اللولبية أسطح رأسية كما هو الحال فى لوحة الهدف فى كرة السلة، أو حائط الاسكواش فإنها سوف تستجيب فى ارتدادها بنفس الأسلوب فى حالة الأسطح الأفقية، فعندما تقذف الكرة من أسفل لأعلى فالكرة التى لا تتحرك بلولبة أو بلولبة أمامية سوف تزيد من لولبتها فى نفس الأبحاث عند الارتداد، وبالتالى فإن زاوية الارتداد سوف تكون أكبر من زاوية السقوط، أما الكرات المقذوفة بلولبة خلفية، فسوف تتوقف هذه اللولبة أو تتحول إلى العكس، وتكون زاوية الارتداد أقل من زاوية السقوط، وعلى نفس النمط، فالكرات المقذوفة من أعلى فى اتجاه سطح رأسى وبلولبه أمامية هى فى الحقيقة تلف للخلف بالنسبة لسطح الارتداد.

وعندما تقابل الكرة وهى فى حالة لولبة سطح يتحرك للأمام كما هو الحال فى التنس أو تنس الطاولة، فسوف ترتد الكرة فى اتجاه تحدده اتجاهات القوى لحظة التصادم، فعلى سبيل المثال، عندما تقابل كرة فى حالة لولبة أمامية سطح ثابت فى مستوى فراغى رأسى فسوف ترتد لأعلى، وعندما تصطدم نفس الكرة بسطح رأسى متحرك، كمضرب التنس سوف ترتد لأعلى ولكن ليس بنفس القدر وذلك لأن الارتداد النهائى يحتوى على مركبة أفقية نتيجة لحركة المضرب للأمام مما قد يؤدى إلى خروج الكرة خارج حدود الملعب. ولكى يتم التغلب على ارتداد الكرة لأعلى، فإنه يتم وضع المضرب فى حالة ميل لأسفل، حيث يؤدى ذلك إلى إضافة قوة تتجه لأسفل كما يغير من لولبة الكرة.

وتؤثر العديد من العوامل فى تحديد محصلة ارتداد أى كرة، فعند محاولة توقع اتجاه الارتداد، فإنه يجب الأخذ فى الاعتبار بكل من كمية حركة الكرة والأداة المستخدمة فى ضربها، هذا بالإضافة إلى مرونة كل منهما، ومدى لولبة الكرة، وكذلك زاوية التصادم. وكافة هذه المتغيرات لها دور أساسى فى العديد من الأداءات الرياضية ومنها على سبيل المثال (كرة اليد ـ الاسكواش وباقى ألعاب المضرب كتنس الطاولة والتنس والريشة الطائرة).

قـوى السـوائـل

يخضع كل من الماء والهواء إلى العديد من المبادىء والقوانين المتشابهة، ومنها قوى الطفو، وقوى الرفع وقوى الإعاقة والتى تؤثر بشكل فعال فى حركة الجسم البشرى فى العديد من الظروف. فطيران القرص والرمح، والكرة الطائرة والعديد من الأدوات التى تطير لمسافات كبيرة تتعرض لما يسمى بتيارات الهواء، وكذلك لاعب السباحة الذى يعدل من أوضاع أجزاء جسمه فى أى من أنواع السباحات بالكيفية التى تحقق له تحقيق حد أدنى من مقاومة الماء لاندفاعه للأمام.

الطفو:

إذا حاول فرد الميل إلى الخلف من الوقوف فى المنطقة الضحلة فى حمام السباحة برفع الذراعين ووضع الرأس خلفاً فسوف يلاحظ أن الطرف السفلى سوف يتحرك لأعلى ويصل إلى السطح. وعند لحظة ما سوف يستقر الجسم فى وضع ثابت ولكى يحدث هذا الاستقرار يتطلب الأمر وجود قوة تعمل لأعلى عمودياً لكى تعادل وزن الفرد الذى يعمل لأسفل ضد مركز ثقله، وهذه القوة التى تعمل رأسياً لأعلى تعرف بالطفو أو قوة الطفو، وفى ضوء قاعدة أرشميدس فإن مقدار القوة يعادل وزن الماء المزاح نتيجة لطفو الجسم.

فقاعدة أرشميدس تنص على أنه عند غمر أى جسم متماسك فى سائل سوف يطفو لأعلى عن طريق قوة تساوى وزن الماء الذى أزاحه الجسم، وتفسر هذه القاعدة سبب طفو بعض الأجسام وعدم طفو البعض الآخر، وكيف يمكن أن يطفو سباح دون أى مجهود يذكر فى حين لا يستطيع أن يؤدى ذلك فرد آخر فيبذل مجهوداً مضاعفاً ليحافظ على أنفسه وفمه خارج الماء فى الطفو على الظهر.

فعند غمر الجسم فى الماء، فسوف يغوص حتى يصل وزن الماء الذى أزاحه الجسم إلى نفس وزن الجسم فالأجسام التى تغوص لا تحقق هذا التعادل وبالتالى فهى تستقر فى القاع، والفرق بين وزن هذه الأجسام فى الماء ووزنها فى الهواء هو الذى يحدد مقادير وزن الماء المزاح وهو يمثل قوة الطفو التى تعمل على طفو هذه الأجسام.

وحتى الأجسام الطافية، يكون جزءاً منها فى الماء، وبالتالى فإنه يزيغ حجماً محدداً منه، يعادل وزن الجسم الطافى، وأى جسم يبدأ فى الغوص يتوقف عن حركته لأسفل بمجرد أن يصل وزن الماء الذى أزاحه لنفس وزنه، والنسبة بين وزن الجسم ووزن الماء الذى يعادل نفس الحجم، تسمى بالجاذبية الخاصة Specific gravity.

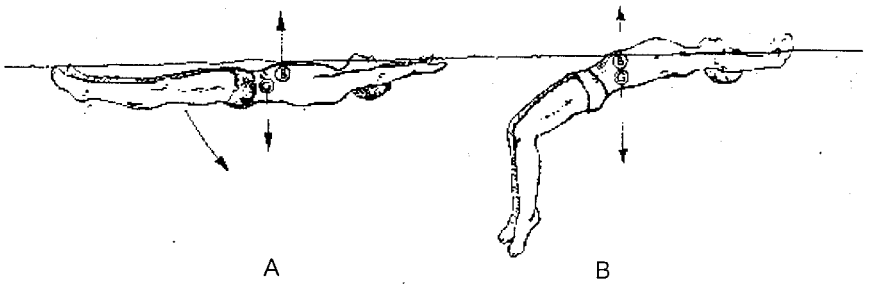
والأجسام التى تزيح كمية من الماء تعادل فى وزنها وحجمها وزن وحجم هذ الأجسام تكون جاذبيتها الخاصة واحد صحيح، أما الأجسام التى تزيح كمية من الماء يكون حجمها أقل من حجم الجسم، تكون جاذبيتها الخاصة أقل من واحد صحيح ويمكن أن يطفو جزءاً منها فقط فوق سطح الماء، أما إذا كان حجم المزاح أقل من وزن الجسم فسوف يغوص.

وتختلف أجسام البشر من حيث الجاذبية الخاصة، فالأفراد الذين يتمتعون بنسبة عالية من الدهون فى أجسامهم سوف تنخفض جاذبيتهم الخاصة، عن الأفراد ذوى الأجسام العضلية والعظام الكبيرة. وعادة ما تكون الجاذبية الخاصة للرجال والأطفال أعلى من النساء، وبالتالى فنسبة طفوهم أقل.

وتختلف الجاذبية الخاصة اختلافاً واضحاً بين أجزاء الجسم، وعادة ما تتميز الرجلين بجاذبية خاصة عالية، لذا فهى تميل إلى الغوص دائماً عند الطفو على الظهر، أما بالنسبة للصدر فهو أكثر أجزاء الجسم استعداداً للطفو، حيث أن وزنه يعتبر قليل نسبياً بالنسبة لحجمه، ومن الممكن زيادة نسبة الطفو عن طريق الاحتفاظ بكمية كبيرة من الهواء داخل الرئتين.

وهناك بعض الحالات الخاصة التى تزيد فيها الجاذبية الخاصة عن واحد صحيح، وهذه الحالات يستحيل معها تحقيق الطفو دون استخدام حركات مساعدة.

ومن أساليب اكتشاف هذه الحالات من الجاذبية الخاصة هو عمل وضع الطفو المتكور مع ملىء الرئتين بالهواء فإذا ما ظهر جزئى من الظهر خارج سطح الماء أو فى مستواه فإن ذلك يعنى أن هذا الشخص من النوع الذى يمكن أن يحقق الطفو بسهولة والعكس الصحيح.



شكل (٤٨)
يحدث التوازن عندما يقع كل من مركز ثقل الجسم
ومركز الطفو على نفس خط عمل القوة الدافعة للماء

ويتأثر أى جسم فى حالة طفو بقوتين إحداهما قوة الوزن لأسفل وتؤثر فى مركز ثقله والأخرى هى قوة الطفو لأعلى وتؤثر فى مركز طفوه. وعندما تكون محصلة هاتين القوتين مساوية للصفر فسوف يستقر الجسم فى حالة إتزان ويطفو بدون حركة. ويختلف مكان كل من مركز الثقل ومركز الطفو ففى حين يكون مركز الثقل فى نقطة ما أقرب ما يكون للحوض، نجد أن مركز الطفو يعلو هذه النقطة فى إتجاه الرأس قليلاً.

ومركز الطفو عبارة عن مركز جاذبية الماء المزاح إذا ما وضع هذا الماء فى وعاء يطابق شكل وحجم الجسم ونظرا إلى أن كثافة الماء منتظمة فإن مركز جاذبيته سوف يكون فى إتجاه الحجم الأكبر أى أقرب ما يكون إلى الصدر وإذا أثرت كل من قوى الطفو وقوى الجاذبية فى إتجاهات مختلفة كما هو الحال فى شكل (٤٨ أ) ولم تعمل هذه القوى على خط واحد فسوف يميل الجسم للدوران، حتى تتعادل القوى وتتضاد فى الإتجاه وتتساوى فى المقدار، وعند هذه اللحظة فقط يتحول الطفو إلى طفو متزن شكل (٤٨ ب).

والأفراد الذين يؤدون الطفو أفقياً بشكل جيد يتمتعون بوجود مركزى الطفو والجاذبية على خط واحد عندما يكونون فى الوضع الأفقى، وعادة ما تحدث هذه الحالة فى الأجسام التى تحتوى على نسبة عالية من الدهون.

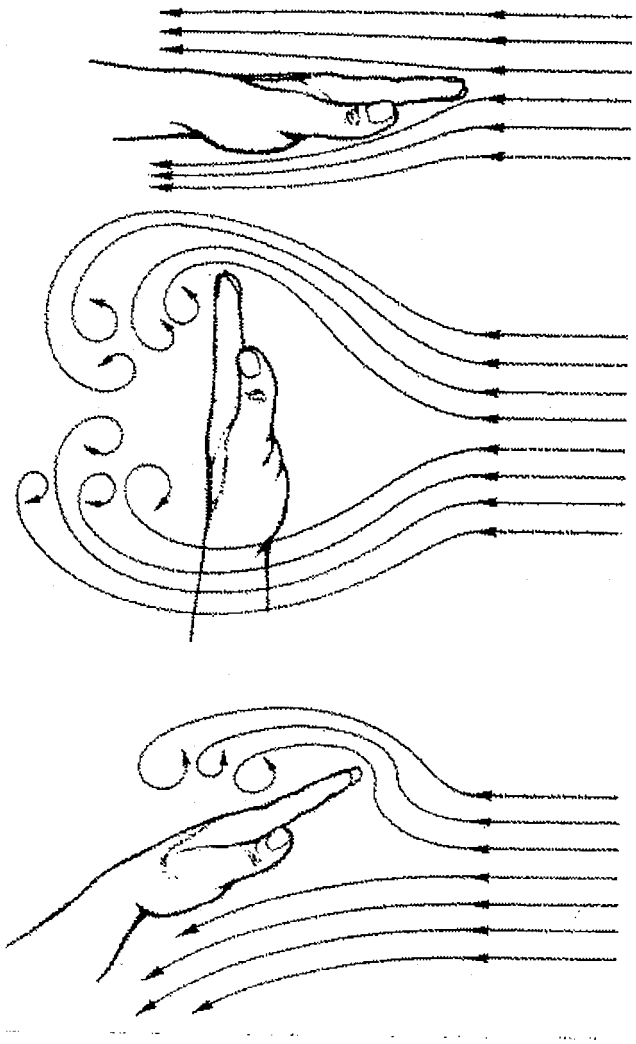
وقد يتمكن الشخص من الطفو من وضع بين العمودى والأفقى وتحقيق التوازن المطلوب، وتحدث هذه الحالة عندما يتواجد مركزى الطفو والثقل على خط عمودى واحد، ومن الممكن تغيير هذه الزاوية عن طريق تغيير وضع أجزاء الجسم بحيث يتحرك مكان مركز الثقل لكى يتواجد على خط عمودى واحد مع مركز الطفو، وقد يتم ذلك عن طريق رفع الذراعين جانبا أو عالياً أو عن طريق ثنى الركبتين أو فتح الرجلين.

قوى الرفع والمنع:

إن مقاومة الهواء أو الماء لحركة الجسم تتم من خلال قوتين هما القوة الرافعة والقوة المانعة، فعندما يتحرك الجسم داخل سائل، فإن القوة المانعة عبارة عن مقاومة الماء عكس إتجاه الحركة، وهى تعمل على تقليل سرعة الجسم، وتتعامد القوة الرافعة مع القوة المانعة وتعمل دائماً على رفع الجسم باستمرار تقدمه للأمام.

فإذا وضع شخص يده فى تيار ماء أو تيار هواء أمام مروحة، وبحيث تكون اليد عمودية على مسار التيار فسوف يشعر الفرد بضغط واضح على اليد حيث يدفعها الماء أو الهواء، أما عندما توضع اليد بحيث تكون فى مستوى أفقى بالنسبة لمسار التيار، فسوف يؤدى ذلك إلى انخفاض تأثير ضغط التيار على اليد بشكل كبير، مما يجعل الشخص قادراً على الاحتفاظ بوضع اليد كما هى من استمرار زيادة قوة التيار، فى حين أنه إذا وضعت اليد فى وضع مائل بين الرأسى والأفقى (٤٥° مثلاً) بالنسبة لإتجاه التيار. فسوف يشعر الفرد بنوعين من الضغط أحدهما لأعلى والآخر للخلف شكل (٤٩).

فوجود اليد فى وضع أفقى يجعل الماء أو الهواء يتحرك من أعلاها وأسفلها عن طريق تغيير خفيف فى شكل التيار وبالتالى سوف لا يؤثر الماء أو الهواء بمقاومة مضادة للحركة بشكل كبير، وباستثناء قوة مانعة قليلة المقدار يمكن الإحساس بها فى نهاية كف اليد، وعلى العكس من ذلك، فسوف نجد أن وضع اليد رأسيا يجعل الشخص يشعر بضغط واضح على الجهة الأمامية منها هذا بالإضافة إلى زيادة المقاومة نتيجة قوى الشفط Suction أو المص التى



شكل (٤٩)
اختلاف شكل تيارات الهواء حول كف اليد باختلاف وضعه

تحدث خلف اليد المتأثر بحركة الماء أو الهواء المزاح خلفها والذى يسبب ما يسمى بالدوامة Vacuum.

أما اليد فى الوضع المائل، فهى تسبب كلا نوعى القوة الناتجة عن تيار الماء أو الهواء، فالقوة الرافعة تحدث نتيجة لاختلال الضغط بين الجانب السفلى والجانب العلوى من اليد، أما القوة المانعة فتحدث نتيجة الاحتكاك الذى يتولد بين سطح اليد وتيار الماء أو الهواء، والذى يختلف باختلاف درجة الميل.

وتمثل العلاقة بين كل من القوة الرافعة والقوة المانعة أهمية فى حركات الأجسام سواء فى الهواء أو الماء، فأى تغيير فى زاوية الميل أو سرعة التيار بالنسبة للجسم المتحرك سوف يؤدى إلى تغييرات جوهرية فى كل من هاتين القوتين وبالتالى سوف يؤثر فى المسافة النهائية لحركة الجسم.

ومقادير كل من هاتين القوتين ومدى تناسبهما تتأثر بالعديد من العوامل، تشمل كثافة الوسط وشكل الجسم ودرجة إنسيابيته، سرعة التيار بالنسبة لسرعة الجسم، ودرجة حرارة الوسط.

وهناك العديد من الأمثلة التى توضح كيفية الوصول إلى الحد الأدنى للقوة المعيقة، عن طريق توجيه التيار بتحديد شكل السطح المواجه له، وبصفة عامة فإنه فى جميع الحالات فإنه كلما قلّت مساحة السطح المواجه للتيار كلما أدى ذلك إلى نتيجة أفضل.

والزاوية المثالية لميل الجسم أو الأداة للاستفادة من قوى الرفع وتخفيف تأثير قوى المنع دائماً أكثر من صفر وأقل من ٩٠°.

ديناميكية الهواء المحيطة بالكرات التى تتحرك بلولبة:

يتخذ شكل الهواء المحيط بالجسم المتحرك، نمطية أساسية فإما أن يكون منتظماً وإما أن يكون مضطرباً، فالهواء الذى يمر حول الأسطح الملساء عندما تتحرك بسرعة بطيئة عادة ما يكون منتظماً أو على هيئة ما يسمى بالاندفاق الصفحى أى على هيئة طبقات صفائحية، فى حين عندما يتحرك الجسم بسرعة عالية ويكون على سطح خشن فقد يؤدى ذلك إلى انهيار الاندفاق الصفحى وتحوله إلى اضطراب فى طبقات الجو، والكرات التى تتحرك بلولبة لها تأثير مختلف عن الكرات التى تتحرك دون دوران حول مركزها.

فالكرات التى تتحرك دون لولبة، قد تسبب انهيارا لهذا الاندفاق الصفحى وتحوله إلى هواء مضطرب ويحدث ذلك فى حالات الكرات ذات الأسطح غير الناعمة أو الملساء، وكذلك فى حالات الكرات الكبيرة نسبياً، وتكون النتيجة، تموج أو تذبذب أو ترنح للكرة كما هو الحال فى الإرسال فى

الكرة الطائرة بدون لولبة، والكرات التى تقذف بسرعات عالية وبدون لولبة ابتدائية قد تتحرك فى شكل مسار منحنى نتيجة لتحول الاندفاق الصفحى للهواء إلى اضطرابات.

ويطبق على هذه الحالات مبدأ يعرف بمبدأ برنولى لا يتسع المجال لشرحه.

الرسم التخطيطى للجسم الحر Free Body diagram

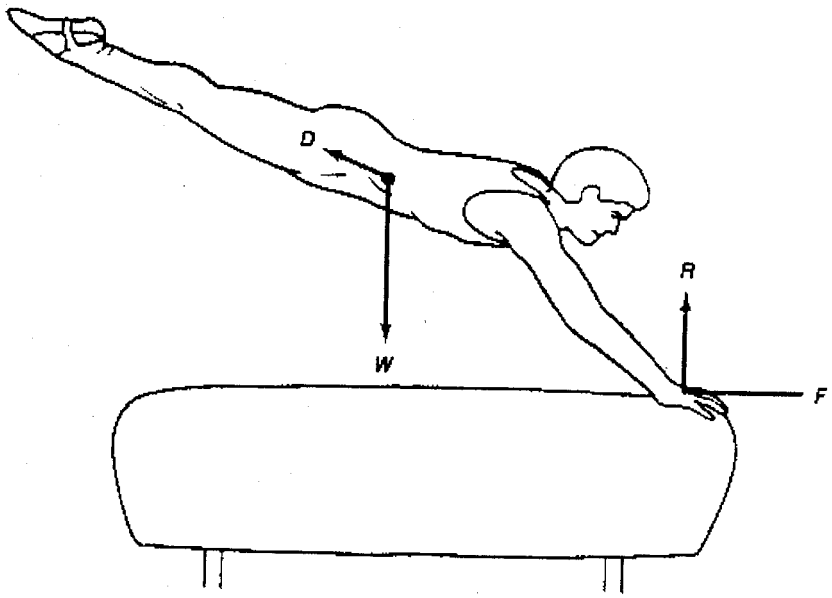
عند تحليل أى أداء حركى، فإنه يجب الأخذ فى الاعتبار بكل القوى الخارجية وتأثيراتها على الجسم، وتبدأ هذه العملية بالتعامل مع الجسم عن طريق عزله عن كل ما يحيط به، وبالتالى فهو فى هذه الحالة يعتبر نظام ميكانيكى منفصل ويمكن تحديد كل وصلاته. وعزل الجسم بهذا الأسلوب يسهل عملية تحديد القوى وتمثيلها بيانياً كمتجهات بالنسبة للرسم التخطيطى الحر (FBD) وهو يساعد فى تحديد القوى المؤثرة فى الجسم ومتجهاتها وفقط تأثيرها كما هو موضح فى جدول (٤).

جدول (٤)

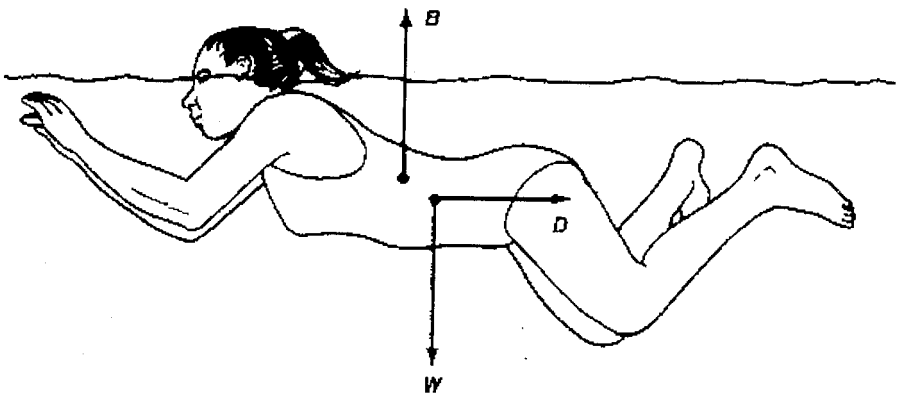
متجهات ونقط تأثير القوى الخارجية فى أى جسم

القوة	متجه القوة	نقطة التأثير
الوزن (W)	عمودياً لأسفل فى إتجاه مركز الأرض	مركز ثقل الجسم
رد الفعل الطبيعى (R)	عمودياص على سطح الاتصال	نقطة الاتصال
الاحتكاك (F)	موازياً لسطح الاتصال وعمودياً على رد الفعل الطبيعى	نقطة الاتصال
الطفو (B)	لأعلى	مركز طفو الجسم
القوة المعيقة (D)	فى اتجاه مضاد لإتجاه التيار	مركز ثقل الجسم
القوة الرافعة (L)	عمودية على متجه القوة المعيقة	مركز ثقل الجسم

ففى الشكل (٥٠) يلاحظ أن طول السهم المعبر عن القوة الخارجية المؤثرة فى الجسم يعبر طوله عن المقدار حيث يمثل رأس السهم إتجاه القوة فى حين يمثل زيل السهم نقطة تأثير القوة، والجسم فى هذه الحالة يتأثر بكل من الوزن



شكل (٥٠) الرسم التخطيطى للجسم الحر وتفسير تأثير القوى الخارجية عليه



شكل (٥١) الرسم التخطيطى لحركة السباح وتأثيرات القوى الخارجية عليه

(W) الذى يمر من مركز ثقل الجسم، ورد الفعل (R) والاحتكاك (F) وكلا هاتين القوتين تعملان على نقطة الاتصال مع الأرض، والقوة المانعة (D) تمر بمركز ثقل الجسم.

وفى شكل (٥١) تعمل كل من قوة الوزن (w) والطفو (B) والقوة

الرافعة (L) والقوة المانعة (θ) وتمثل أهمية ملاحظة كل القوى المؤثرة فى الجسم تحقيق القاعدة التى تنص على أن الجسم فى حالة السكون أو الحركة يكون تحت تأثير قوى مجموعها الإتجاهى صفر وبالتالى فإن القوى التى سوف تغير من هذا المجموع الإتجاهى وبالتالى سوف تحدد نوع الحركة تبدو واضحة ومحددة.

ففى المثال المذكور فى الشكل السابق، عندما يحاول السباح تحقيق سرعة أفقية فذلك يعنى أهمية متابعة القوة الدفعية بالنسبة للقوى المعيقة، فى حين أن علاقة الطفو بالوزن قد لا تكون بنفس درجة الأهمية ويستخدم الرسم التخطيطى للجسم الحر أيضاً لإيضاح القوى المؤثرة فى الجسم وفى أجزائه المختلفة، ففى الشكل (٥٢) يتضح عزل الفخذ عن باقى أجزاء الرجل، وتحديد القوى المؤثرة فيه فقط، وهنا نجد أن القوى المؤثرة فى هذا الجزء هى وزن الفخذ (W) والقوة العضلية للعضلات العاملة على مفصل الفخذ، (n_h)، والقوى العضلية للعضلات العاملة على مفصل الركبة (M_k) وقوى رد الفعل العاملة على مفصل الفخذ (H_x , H_y) (k_x , k_y).

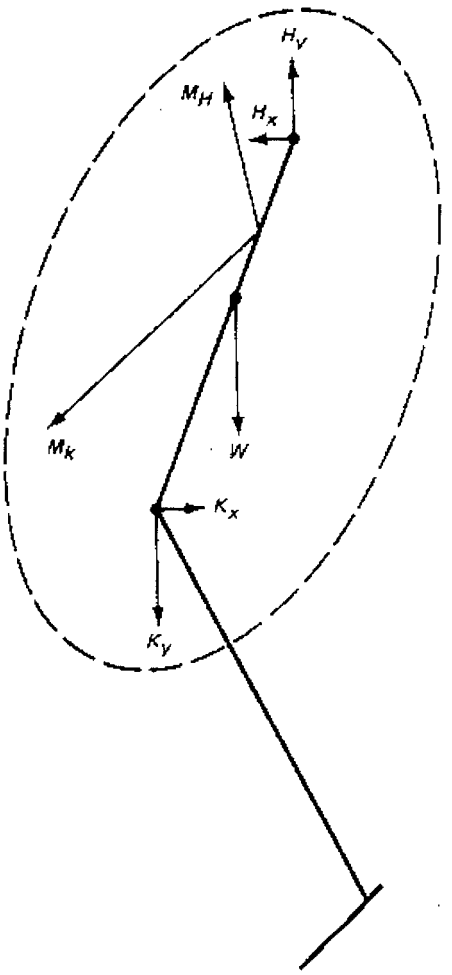
• الشغل والقدرة والطاقة:

الشغل:

إن الماكينات البسيطة ومنها الروافع، هى عبارة عن أشكال من الحيل التى صممت لكى تنتج شغلاً. ففى أى لحظة من لحظات العمل. تضيف الماكينة أو الرافعة، ما يساعد القوة على التغلب على المقاومة، وعندما يتم التغلب على مقاومة ما لمسافة ما فإن ذلك يعنى وجود شغل، ومن الناحية الميكانيكية يمكن القول إن الشغل هو ناتج مقدار القوة المبذولة فى المسافة التى يمكن أن تتحركها المقاومة تحت تأثير هذه القوة، وبالتالى فإن الشغل المبذول لتحريك أى جسم حركة خطية يمكن التعبير عنه عن طريق المعادلة.

$$W = Fs$$

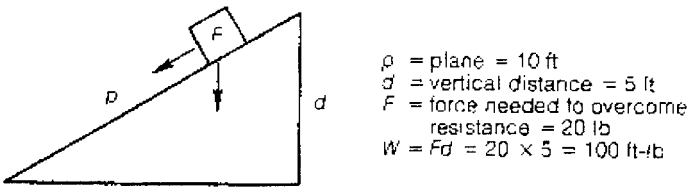
حيث (W) هى الشغل، (F) هى القوة، (S) هى المسافة التى تؤثر فيها



شكل (٥٢)
شكل تخطيطى
للقوى المؤثرة
على الفخذ
فى وضع
ثابت

القوة لكى تحرك المقاومة، وتستخدم العديد من الوحدات للتعبير عن الشغل، حيث أنها عبارة عن وحدات قوة ووحدات مسافة، وعادة ما يستخدم الچول فى النظام المترى، والچول يعادل ١٠^٧ × ١ جرام قوة تبذل لمسافة سنتيمتر واحد.

وفى حساب الشغل، يتم حساب المسافة (S) فى إتجاه تأثير القوة، وحتى ولو لم تتحرك المقاومة فى نفس إتجاه تأثير القوة، فإذا ما تم رفع ثقل يزن ٢٠ كيلو من على سطح الأرض، لوضعه على منضدة ارتفاعها ٨٠سم فإن الشغل المبذول عبارة عن ٢٠×٨٠، وإذا ما تم رفع نفس الثقل على مستوى



شكل (٥٣) الشغل هو مقدار القوة المطلوبة لتحريك مقاومة لمسافة معينة

مائل ١٦٠سم فإن مقدار الشغل يبقى كما هو شكل (٥٣) فالشغل المبذول على المستوى المائل هو نفس مقدار الشغل المبذول، لرفع الثقل، إلى أعلى نقطة فى المستوى المائل، وهنا يظهر عدم اشتراك المسافة الأفقية التى يحركها الثقل فى الحسابات.

والشغل الذى يحدث فى نفس اتجاه حركة الثقل يسمى بالشغل الإيجابى فى حين أن الشغل الذى يحدث فى الاتجاه العكسى يسمى بالشغل السلبى، فعند ثنى الركبتين كاملاً، تعمل العضلات المادة للرجلين بالتطويل، لمقاومة فعل الجاذبية الأرضية على الجسم، وهنا يتحرك الجسم فى هذا التمرين فى عكس اتجاه القوة لأعلى بفعل العمل العضلى وعليه يكون الشغل المبذول من العضلات شغلاً سلبياً أو مقاوماً للحركة، ويتحرك الجسم فى نفس الاتجاه عندما تعمل العضلات المادة مع الانقباض بالتقصير فى هذا التمرين، هو المجموع الاتجاهى للشغلين الموجب والسالب وشغل العضلات المقاومة للجاذبية (السالب) يكون عادة أقل من الشغل المبذول للتغلب على الجاذبية، فعلى سبيل المثال، يبذل الفرد شغلاً أكبر فى حالة صعود الجبل منه فى حالة هبوطه. وكذلك صعود وهبوط فى كرة السلة.

وعندما لا تنتج حركة مرئية رغم وجود جهد مبذول، كما هو الحال فى مسابقة شد الحبل فإن ذلك يعنى عدم وجود شغل، فعلى الرغم من عمل العضلات بالانقباض الثابت فى الكثير من الإداءات الرياضية إلا أنه لا يمكن أن نعتبر أن هذا العمل ينتج عنه شغل، ولكن التفسير الفسيولوجى لما يحدث فى هذه الحالة يرتبط بفاقد الطاقة أو مقدار الطاقة المبذولة أو المستهلكة. والتى

تقاس عادة عن طريق حساب مقدار الأكسجين المستهلك خلال فترة بذل الجهد وتحويلها إلى سعرات حرارية فى الدقيقة.

ومن الناحية النظرية، يمكن حساب الشغل الميكانيكى الذى يمكن أن تبذله العضلة، باستخدام المعادلة (W=Fs)،فلنفرض أن هناك عضلة طولها (١٦,١٠سم) وسمكها (٣,٨١سم) تبذل قوة مقدارها ٣٠ كيلوجرام قوة لتحريك الطرف الذى تعمل عليه، ونظراً إلى أن المتوسط العام لطول العضلة عند انقباضها بالتقصير يصل إلى نصف طولها فى حالة الراحة، وأن ألياف مثل هذا النوع من العضلات تمتد بطول العضلة، فإن ذلك يعنى أن قوة هذه العضلة تتحرك لمسافة (١,٥سم) ونظراً إلى أن قوة العضلة هى ٣٠ كيلوجرام فيكون مقدار الشغل المبذول فى هذه الحالة هو (٣٠×١,٥).

أما فى حالة ما إذا كانت قوة العضلة غير معلومة، فإنه يمكن حسابها بمعلومية مساحة المقطع العرض كما سبق الإشارة فى باب سابق، ومع افتراض أن العضلة المذكورة فى المثال السابق، سمكها (١,٣سم) إن القوة لكل (١سم^{٢}) من مساحة مقطعها هى ٤٠,٨٦ كيلوجرام، فإنه يمكن اتباع الخطوات التالية.

١ـ مساحة المقطع = السمك × العرض

(١,٣ × ٣,٨١) = ٤,٩٥سم^{٢}

٢ـ مقدار القوة لكل اسم٢ = ٤٠,٨٦

القوة الكلية = ٤٠,٨٦ × ٤,٩٥ = ٢٠٢,٢٦ كيلوجرام.

٣ـ مقدار الشغل المبذول = ٢٠٢,٢٦ × ٥,١ = ١٠٣١,٥٣ چول

وفى المثالى السابق، استخدمت عضلة محددة الأبعاد لتسهيل عملية الحساب، أما بالنسبة للعضلات الريشية الآحادية أو الثنائية أو المتعددة الريشة، فإنه من المهم تحديد مساحة مقطعها بشكل دقيق كما أنه يجب الأخذ فى الاعتبار بأن المسافة (S) المقصود بها الألياف التى تمتد طولها من أول العضلة حتى آخرها ويعتمد ذلك بالقطع على التركيب الداخلى لكل عضلة. كما أن

حسابات مقدار القوة العضلية لكل سنتيمتر مربع تحددها العديد من الأبحاث التى أجريت فى هذا المجال.

والمعادلة التى يمكن أن تستخدم لحساب الشغل الذى تبذله عضلة معلوم متوسط طول أليافها، ومتوسط مساحة مقطعها (PCS) تتخذ الشكل التالى:

$\frac{1}{2}$ طول العضلة × مساحة مقطعها بالسنتيمتر المربع × القوة العضلية لكل سنتمير مربع.

وهذه المعادلة تستخدم فى حساب الشغل بالكيلوجرام. سنتيمتر، ونظرا إلى أنه من المعتاد أنه يحسب الشغل بالكيلوجرام. متر فإنه يتم قسمة الناتج على ١٠٠.

$$P = \frac{Fs}{t} = \frac{w}{t}$$

$$V = \frac{s}{t}$$

القدرة: Power

لا يدخل حساب الزمن عند حساب الشغل المبذول، فعندما يرفع شخص ٢٠٠ كيلوجرام لمسافة ٣ متر فإن ذلك يعنى أنه بذل شغل مقداره ٦٠٠ كيلوجرام. متر، بغض النظر عن الزمن المستغرق فى ذلك، والقدرة هى المعدل الذى يحدث به الشغل، أى أن عنصر الزمن تعبيراً أساسياً فى حسابها، وبالتالى فإن معادلة حساب القدرة تتخذ الشكل:

$$P = \frac{W}{T}$$

حيث (P) هى القدرة، (W) هى الشغل، (t) هو الزمن، وبما أن مسافة الشغل على الزمن تعنى السرعة، فإن معادلة القدرة تتخذ الشكل (P = FV) وكلا شكلى المعادلات التى تستخدم لحساب القدرة، يوضحان أن الآلة التى يمكن أن تبذل شغلاً أكثر فى زمن محدد أو التى تستغرق زمنا أقل فى بذل مقدار محدد من الشغل تكون أكثر قدرة.

ويستخدم نظام الوحدات الانجليزية وحدة الحصان وهى (٥٥٠ رطل/ قدم/ ث) أما فى النظام المترى فتستخدم وحدات (ألوات Watt) والتى تساوى (چول/ ثانية).

الطاقة: Energy

تعرف الطاقة بأنها القدرة على بذل شغل. فالجسم الذى ينتج طاقة هو الجسم القادر على بذل شغل وتقاس الطاقة التى ينتجها الجسم بالشغل المبذول. وتتخذ الطاقة عدة أشكال، ويمكن أن تتحول من شكل لآخر وبناءاً على قانون بقاء الطاقة، فإن الطاقة لا يمكن أن تفنى أو تخلق من عدم. وقد تتخذ الطاقة شكلاً من الأشكال التالية (طاقة حرارية ـ طاقة صوتية ـ طاقة ضوئية، طاقة كهربية، طاقة كيميائية، طاقة نووية، طاقة ميكانيكية).

فعند ضرب كرة بمضرب، يتحول جزء من الطاقة الميكانيكية إلى طاقة صوتية وطاقة حرارية، حيث لا يفقد أى جزء من الطاقة الناتجة. فالطاقة الكلية الناتجة تبقى قيمتها ثابتة.

وللطاقة شكلين رئيسيين فى الأداء الحركى يسميان بطاقة الوضع وطاقة الحركة، حيث لهما تطبيقات متعددة فى مجال الميكانيكا الحيوية، فطاقة الوضع عبارة عن قدرة الجسم على بذل شغل بحكم ما يتخذه من وضع أو تواجد فلاعب الغطس عندما يبدأ فى أداء مهاراته من على سلم القفز، سواء كان الثابت أو المتحرك، يكون مكتسباً لطاقة وضع، وباستخدام وحدات قياس الشغل، نجد أن طاقة الوضع، عبارة عن القوة مضروبة فى المسافة بين ارتفاع الجسم وسطح الأرض، فطاقة وضع لاعب غطس وزنه ٧٠ك ويقف على ارتفاع ١٠ أمتار من سطح الماء هى ٧٠٠ كيلوجرام/ متر وفى هذه الحالة، تحسن طاقة الوضع على النحو التالى:

$$PE = mgh$$

حيث (m) هى كتلة اللاعب (g) هى عجلة الجاذبية الأرضية، (قوة الجاذبية)، (h) هى ارتفاع اللاعب عن سطح الماء، وناتج كل من (m)، (g) وهو (mg) هو وزن اللاعب والمسافة المحسوبة تقاس من المستوى صفر وهو مستوى سطح الماء، فطاقة الوضع لشخص يقف على منضدة ارتفاعها ٩٠سم عن سطح الأرض، يمكن زيادتها عن طريق عمل حفرة عميقة أمام المنضدة وبالتالى فتكون المسافة التى يسقط فيها الشخص داخل الحفرة، أكبر لزيادة الارتفاع (h).

أما طاقة الحركة لأى جسم، فهى الطاقة الناتجة عن حركته، فكلما زادت سرعة الجسم كلما زادت طاقة حركته، فعندما يتوقف الجسم عن الحركة فإنه يفقد طاقة حركته، ويتضح ذلك من معادلة طاقة الحركة:

$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

حيث (m) هى كتلة الجسم، (v) هى سرعته، فإذا ما كانت (v) مساوية للصف فإن ذلك يعنى أن الجانب الأيمن من المعادلة يساوى صفر وبالتالى فإن طاقة الحركة تساوى صفر.

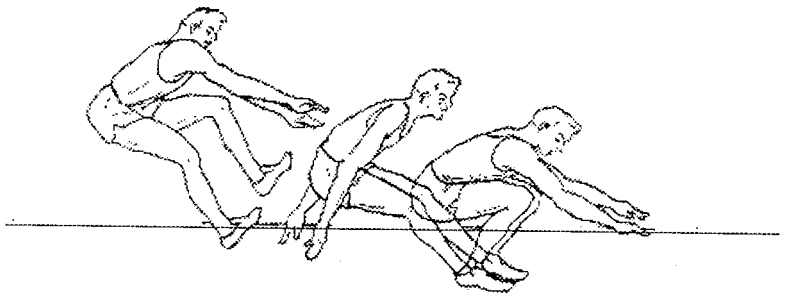
فالطاقة هى القدرة على بذل شغل، وبما أن الطاقة، لا تفنى ولا تخلق من عدم، فإن الشغل المبذول يعادل طاقة الحركة أى أن:

$$FS = \frac{1}{2} mv^2$$

وهذه العلاقة، تعتبر على درجة عالية من الأهمية فى تفسير استقبال الأجسام المتحركة، ففى محاولة استقبال الكرات التى تتحرك بسرعة، تتم زيادة المسافة التى تستقبل منها الكرة، لايقاف حركتها السريعة خلال هذه المسافة، والشغل المبذول من اليدين يعتمد على سرعة الكرة أو على طاقة حركتها لحظة اصطدامها باليدين وأياً كان هذا الشغل محتوياً على قوة كبيرة لمسافة صغيرة أو قوة لمسافة كبيرة فإن ذلك يعتمد على الأسلوب الذى يتبعه اللاعب فى استقبال الكرة.

فمع زيادة المسافة (S) فى القانون ($FS = \frac{1}{2} mv^2$) فإن قوة التصادم، (F) يجب أن تقل، واللاعب المتميز يستطيع أن يحقق ذلك، وبالتالى فإنه يستطيع أن يخفف من احتمالية حدوث الإصابات، ويزيد من فرص استقبال الكرة بقوة أقل ومسافة أكبر محققاً تناقص تدريجى لطاقة الحركة الخاصة بالكرة، ويحدث هذا الحال أيضاً عند الهبوط من الوثب أو السقوط من ارتفاع شكل (٥٤).

ويمكن أن تتحول طاقة الحركة إلى طاقة وضع والعكس، فلاعب الغطس الذى يقفز من سلم القفز يبدأ فى فقد طاقة وضعه تدريجياً واكتساب طاقة حركة معادلة، حيث أن اللاعب على السلم يتمتع بطاقة وضع تعادل ١٠٠٪ من طاقته الكلية، فى حين تكون طاقة حركته صفر٪ وعند الوصول لمستوى سطح الماء



شكل (٥٤) تأثير الفقد التدريجى لطاقة الحركة عند الهبوط فى الوثب الطويل

تنعكس صورتى الطاقة فتكون ١٠٠٪ طاقة حركة، صفر٪ طاقة وضع. أى أن طاقة الوضع فى أقصى ارتفاع تعادل طاقة الحركة فى أدنى ارتفاع.

وعملية التحول بين صورتى الطاقة (الوضع والحركة) تعتبر على درجة عالية من الأهمية فى دراسة مهارات الجمباز وخاصة المرجحات. فالجسم يتحرك حركة بندولية وتتحول خلال هذه الحركة طاقة المرجحة بين طاقة وضع وطاقة حركة فى كل مرجحة، فعندما يتحرك الجسم المعلق لأعلى، تستمر طاقة الحركة فى التحول إلى طاقة وضع حتى يصل الجسم أعلى نقطة لتكون طاقة الوضع فى هذه الحالة أعلى ما يمكن وتتلاشى طاقة الحركة، لكى تبدأ من جديد هذه الطاقة فى إنتاج شغل مع هبوط الجسم لأسفل، أى أن فى نهايات المرحجة تكون الطاقة المتوفرة هى طاقة وضع فقط، وبمجرد سقوط الجسم لاستكمال المرجحة فى الاتجاه الآخر تبدأ طاقة الحركة فى التزايد، حتى تصل إلى أعلى قيمة لها عند قاع المرحجه أى أسفل محور الدوران. حيث تكون السرعة هنا أعلى قيمة لها وطاقة الوضع صفر. ومن الناحية النظرية تستمر المرجحة دون تأثير فى حالة غياب الاحتكاك، إلا أنه فى واقع الأمر يؤدى احتكاك قبضتى اليدين بمحور الدوران إلى ظهور شكل آخر من أشكال الطاقة وهو الطاقة الحرارية، ومع استمرار هذ الاحتكاك يبدأ البندول فى التوقف عن الحركة.

حالات الحركة الدورانية:

القوة المدورة:

سبق وأوضحنا أن القوة التى تؤثر فى أى جسم، تعتمد فى تأثيرها على

المقدار، ونقطة التأثير والإتجاه فعندما تؤثر القوى على خط واحد فى جسم حر وتكون نقطة تأثيرها هى مركز ثقل هذا الجسم، فإنه يتحرك حركة خطية، وعندما لا يكون اتجاه القوى على خط واحد، يظهر خليط من الحركة الخطية والدورانية، وهذه العلاقة بين اتجاه القوة ونقطة التأثير والحركة الناتجة يمكن ملاحظتها، عند دفع كتاب موضوع على منضدة، فقد يتحرك حركة خطية عندما يكون مقدار القوة المستخدمة فى الدفع كافياً ويمر خط عملها بمركز ثقل الكتاب، وعلى نفس النمط، فإن أى جسم مثبت من أحد أطرافه كالباب مثلاً، أو أى طرف من أطراف الجسم، يدور عندما يتأثر بقوة لا تعمل على مركزه فى حين أنه لا يدور إذا ما أثرت القوة على خط واحد مع محور الدوران.

وتسمى القوة التى لا يمر خط عملها بمركز ثقل الجسم الحر أو بمحور الدوران للجسم المثبت من نقطة بالقوى اللامركزية (Eccentric). فلكى يحدث الدوران لابد من وجود قوى لامركزية بصفة عامة.

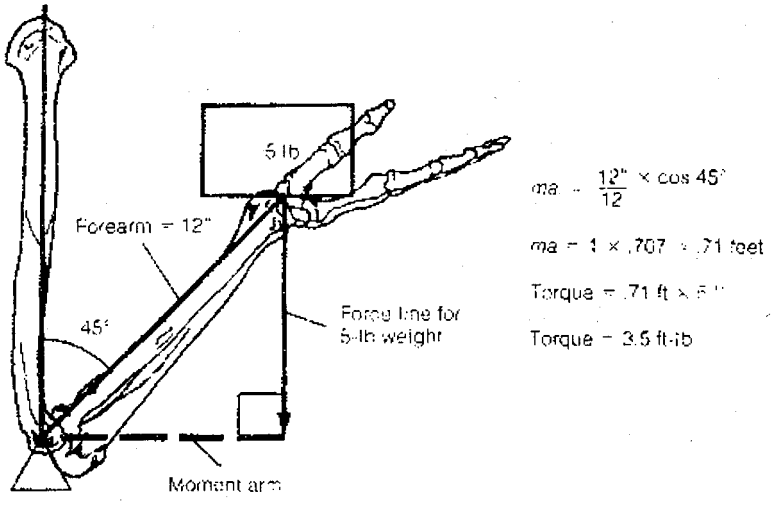
والناتج الدورانى لأى قوة يعرف بالعزم أو عزم القوة، فالعزم حول أى نقطة، هو ناتج مقدار القوى مضروباً فى البعد العمودى بين خط تأثير القوة ومحور تثبيت أو دوران الجسم، وهذه المسافة العمودية تعرف بذراع العزم، ومع إهمال وزن الذراع يمكن القول إن العزم الناتج عن ثقل يزيد ٥ كيلوجرام موضوع فى اليد والمفصل المرفقى فى حالة قبض حتى المستوى الأفقى هى ناتج الوزن مضرباً فى البعد العمودى بين خط هذا الوزن ومحور مفصل المرفق، فإذا ما كانت هذه المسافة أو البعد العمودى ٦٠سم مثلاً فإن مقدار العزم أو القوة المدورة للساعد لأسفل، هو (٥كيلوجرام × ٦٠سم)، ولكى يبقى الساعد فى حالة ثبات فإن ذلك يتطلب أن تبذل العضلات القابضة، نفس المقدار من العزم ولكن فى الاتجاه العكس أى لأعلى وبمقدار (٥كيلوجرام × ٦٠سم).

وبما أن العزم هو ناتج القوة كمقدار فى البعد العمودى (ذراع العزم)، فإنه يمكن زيادته أو نقصانه بزيادة أو نقص طول ذراع العزم، أو مقدار القوة، فإذا ما كان هناك وزن قليل نسبياً، يعمل على مسافة عزم صغيرة نسبياً فإن ناتج العزم

يكون صغيراً، عما إذا استخدمت وزن أكبر أما إذا وضع هذا الوزن على مسافة عزم أصغر منه الحالة السابقة فقد يتساوى العزمين رغم اختلاف الوزنين. وهو ما يفسر تناقص مقدار العزم المطلوب من العضلات القابضة فى حالة ما إذا تحرك الثقل بعد الوضع الأفقى فى المثال السابق حيث أن هذه الحركة تعنى تناقص البعد العمودى بين خط عمل الثقل ومحور المفصل. وبنفس الأسلوب فإذا ما اقترب الوزن المراد تحريكه من محور المفصل فإن العضلات المحركة سوف تبذل شغلاً أقل، ففى هذه الحالة لا يتغير أى شىء فى كتلة الوزن المستخدم ولكن التغيير الوحيد الذى يحدث هو اقتراب الثقل من محور المفصل وبالتالى تناقص مقدار عزمه بتناقص المسافة العمودية.

فكلما كانت نقطة تأثير القوة أبعد ما يكون عن محور الدوران كلما زاد عزم هذه القوة.

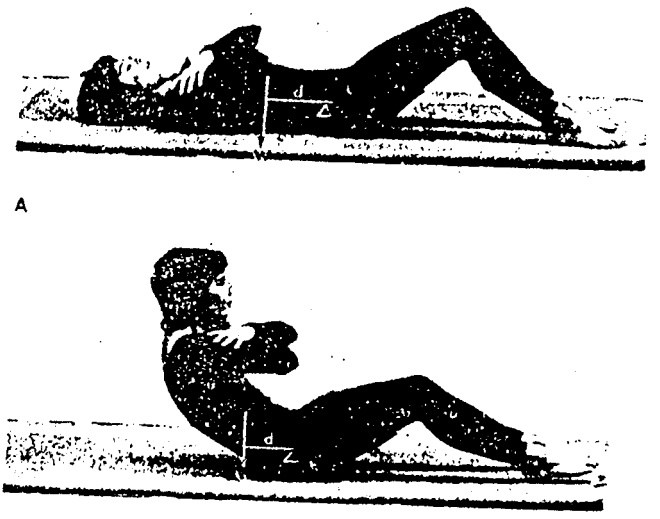
ومن المهم التأكيد على أن ذراع العزم هو المسافة العمودية (⊥) بين متجه القوة ومحور الدوران، ففى المثال السابق، يتضح أن طول ذراع العزم هو نفس طول الساعد حيث أن الساعد فى الوضع الأفقى، يكون عمودياً على محور الدوران فى مفصل المرفق، وفى نفس الوقت عمودياً على خط عمل الثقل المحمول أما إذا كان الساعد فى وضع آخر غير الوضع الأفقى، فلن يزيد طوله، ولن يكون مساوياً للمسافة العمودية بين خط عمل الثقل والمحور، فإذا فرضنا أن وضع الساعد قد تغير من المستوى الأفقى إلى الزاوية (٤٥°) بالنسبة لهذا المستوى، وهنا لا يكون خط عمل الثقل عمودياً على الساعد شكل (٥٥) وهذا يعنى أن طول ذراع العزم لن يكون أطول من طول الساعد، وذلك لأن ذراع العزم يجب أن يكون عبارة عن المسافة العمودية المقاسة من متجه القوة أو خط عملها حتى محور الحركة، وذراع العزم فى هذه الحالة يكون أقصر، وباستخدام حساب المثلثات سوف نجد أن ذراع العزم يصل طوله إلى ٤٢,٤سم تقريباً وبالتالى سوف يقل العزم من ٥كيلوجرام إلى ٣,٥كيلوجرام بمعنى أن العزم العضلى المطلوب لتحقيق ذلك التوازن سوف يقل بالتبعية.



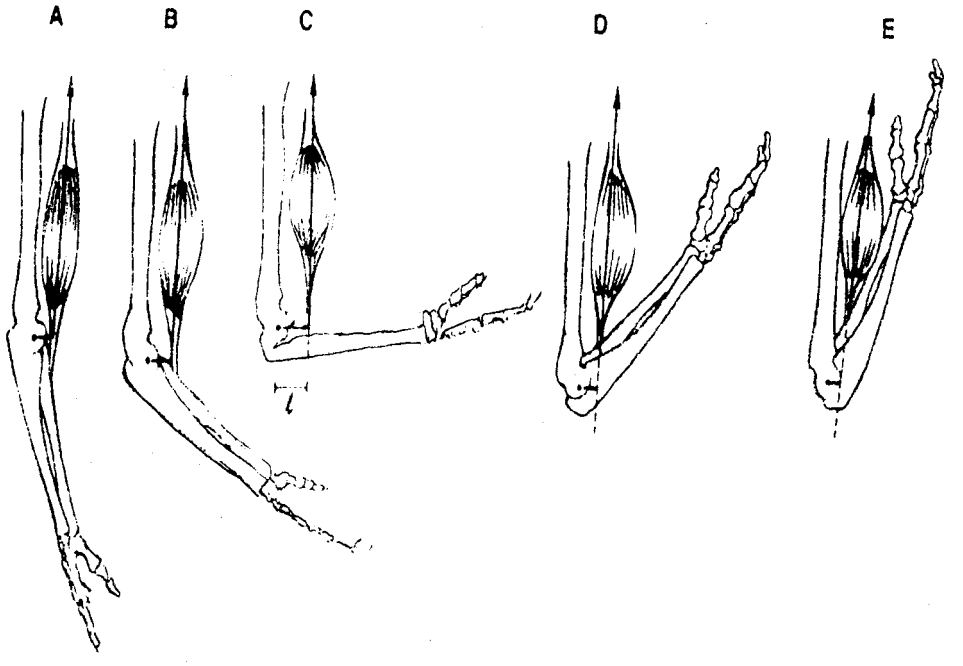
شكل (٥٥) العزم الناتج عن ثقل يعادل ٥ باوند حول مفصل المرفق

فى الجسم البشرى لا تتغير أوزان الأجزاء، لذا فإن العزم الناتج عن أى جزء من أجزاء الجسم حول المفصل الذى يتحرك عليه، نتيجة لقوى الجاذبية، لا يتغير إلا بتغيير ذراع عزم هذه الجاذبية، ويحدث ذلك بتحريك أجزاء الجسم بحيث يقترب خط عمل الوزن كقوة نمو محور الدوران، ويظهر ذلك بوضوح فى تمرين الجلوس من الرقود، فإذا ما تمت مقارنة تأثير الجاذبية الأرضية على الجذع فى الحركة من الرقود لأعلى، فإذا ما تمت مقارنة تأثير الجاذبية الأرضية على الجذع فى الحركة من الرقود لأعلى بتأثيرها الجذع وهو فى زاوية مقدارها ٣٠° مع الاستواء الأفقى شكل (٥٦).

وتنتج القوة العضلية عزما يحرك أجزاء الجسم، حيث يعتمد مقدار العزم على كل من مقدار القوة العضلية وطول ذراع عزمها، بالإضافة إلى عزم الجاذبية الأرضية، ويعتبر طول ذراع عزم القوة العضلية على إندغام العضلة ووضع الجزء المتحرك فى كل لحظة من لحظات الحركة، وشكل (٥٧) يوضح كيف يتغير طول ذراع عزم العضلة ذات الرأسين العضدية، مع تغير وضع الساعد خلال قبض مفصل المرفق، كما أن مقدار القوة المشاركة فى العمل يتغير أيضا بتغير طول العضلة ومقدار الشد وتغيير زاوية الشد.



شكل (٥٦) عزم الجاذبية على الجذع فى تمرين الجلوس من الرقود



شكل (٥٧) حالات الحركة الدورانية فى قبض الساعد

وهنا يجدر الإشارة إلى أن المناقشة السابقة، تلفت النظر إلى أهمية ملاحظة، أن القوة المدورة أو العزم المؤثر فى الجسم الحر، يعتمد على عاملين رئيسيين، هما مقدار القوة والمسافة العمودية بين خط عملها ومحور الدوران. ويحدث التغيير فى مقدار الدوران عندما يحدث تغيير أى من هذه المتغيرات.

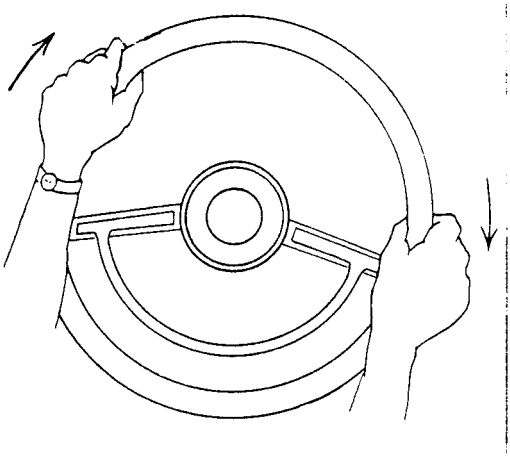
فتقليل ذراع العزم أو تقليل مقدار القوة، سوف يقلل من التأثير الدورانى أى العزم، فى حين أن زيادة طول ذراع العزم أو زيادة القوة سوف يزيد من التأثير الدورانى أى مقدار العزم وبالتالى سوف يزيد من المجهود المبذول للتغلب عليه.

جمع العزوم:

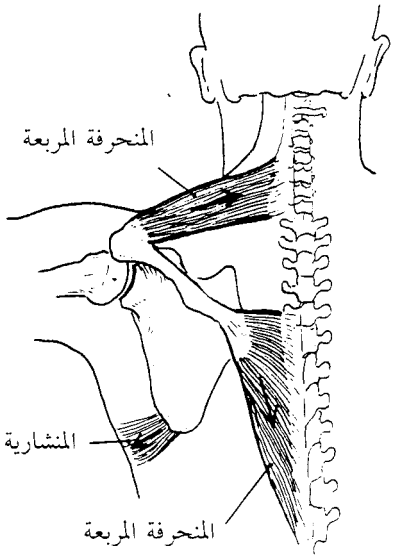
إن جمع عزمين أو أكثر من الممكن أن يؤدى فى النهاية إلى عدم حدوث حركة أو قد يؤدى إلى حركةخطية أو حركة دورانية، فعندما تعمل قوتين لامركزيتين متوازيتين وفى نفس الإتجاه وعلى جانبين مختلفين من مركز الدوران. فقد لا تحدث حركة أو قد تحدث حركة خطية، ومن أمثلة عدم حدوث الحركة توازن طفلين على أرجوحة أما عندما تكون القوتين المتوازيتين كافيتين للتغلب على مقاومة الجسم فسوف تنتج حركة خطية، وهذا ما يلاحظ فى حركات التجديف ففى حين يعمل أحد اللاعبين على بذل قوة على أحد المجدافين يعمل اللاعب الآخر على بذل قوة موازية على المجداف الثانى وبالتالى تنتج حركة خطية فى الزورق.

أما عندما تعمل قوتين متساويتين فى المقدار ومتضادتين فى الإتجاه وعلى جانبين مختلفين من الجسم فسوف يدور الجسم، وهذا النوع من التأثير يسمى بازدواج القوة أو الازدواج، ومن أمثلة هذا النوع عمل اليدين على عجلة القيادة فى السيارة، شكل (٥٨) أو كما هو الحال فى حالة غلق أو فتح صنبور الماء.

وهناك العديد من الأمثلة، فى الجسم البشرى التى يمكن أن توضح عمل عضلتين فى تدوير العظام عن طريق ما يسمى بازدواج القوى، فالعضلة المنحرفة المربعة (الجزء الأوسط) تعمل مع الجزء السفلى فى العضلة المنشارية



شكل (٥٨)
عمل اليدين كازدواج
قوة على عجلة القيادة



شكل (٥٩)
عمل قوتين عضليتين
على عظام اللوح
لتدويرها لأعلى

الأمامية بازدواج لتدوير اللوح لأعلى، وكذلك الألياف الوسطى والسفلية من المنحرفة المربعة تعمل معاً على تثبيت شوكة اللوح عن طريق ازدواج القوة وذلك للمساعدة فى دوران اللوح لأعلى، وكذلك عمل العضلتين البطنيتين المنحرفتين فى دوران الجذع شكل (٥٩).

مبدأ العزوم:

إنه من الطبيعى أن يتأثر الجسم بأكثر من عزم فى وقت واحد، والعزم

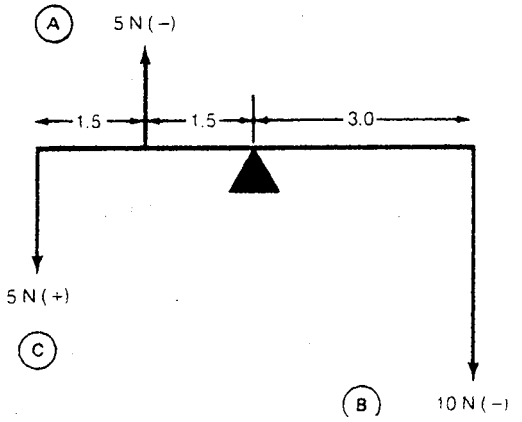
المحصل لهذه العزوم المتعددة، يعبر عنه بمبدأ العزوم الذى يتناول كيفية استخراج المحصلة النهائية، حيث ينص هذا المبدأ على أن العزم المحصل لأى نظام من القوى، يجب أن يساوى المجموع الإتجاهى للعزوم لهذه القوى منفردة حول نفس النقطة.

ونظراً إلى أن العزوم هى كميات متجهة، فإن جمعها يجب أن يراعى فيه إتجاهات الدوران التى تحدثها بالإضافة إلى مقاديرها، وقد اصطلح على أن يكون إتجاه الدوران إما مع عقارب الساعة أو عكسها. فإذا ما كان الدوران مع عقارب الساعة استخدمت معه الإشارة السالبة (-) والعكس إذا ما كان ضد دوران عقارب الساعة حيث تستخدم معه الإشارة الموجبة (+) وهذه الإشارات يجب أن تراعى عند جمع العزوم لذا فإنه يسمى بالجمع الإتجاهى.

وعندما تتساوى العزوم فى إتجاه دوران عقارب الساعة مع العزوم فى الإتجاه المضاد، فلن يحدث دوران، وهذا المبدأ يطبق أيضاً على الحالات التى يكون فيها المجموع الإتجاهى لعزوم القوى مساوياً للصفر حول نقطة أو محور. أما عندما لا تتساوى مقادير العزوم، فإن التأثير الدورانى يكون عبارة عن الفرق بين العزوم فى الإتجاهين ويدور الجسم نحو الإتجاه الأكبر.

ويوضح شكل (٦٠) مجموعة من القوى تعمل عمودية على رافعة حيث القوة (A) تبعد مسافة ١,٥ متر من المحور، والقوة (B) تبعد مسافة ٣ متر عن المحور وكلا القوتين تعملان بعزم فى إتجاه دوران الساعة فى حين القوة (C) تبعد مسافة ٣ متر عن المحور وتعمل بعزم دوران فى إتجاه عكس عقارب الساعة وبالتالى فإن العزم المحصل لهذه القوى يكون ٥٢,٥ نيوتن وفى إتجاه دوران عقارب الساعة حول محور الدوران وبالتالى فإنه يشار إلى هذه القيمة بالإشارة السالبة (-).

أما عندما تؤثر قوة لامركزية فى جسم بزاوية غير (٩٠°) فإن ذلك يعنى أن ذراع العزم لا يكون هو طول الرافعة، حيث أنه قبل الشروع فى حساب العزم، يجب تحديد طول ذراعه بدقة والمسافة العمودية بين خط تأثير القوة



شكل (٦٠) الجمع الاتجاهى للعزوم

ومحور الدوران. ويمكن حساب ذلك عن طريق استخدام حساب المثلثات وسوف توضح هذه الإجراءات فى المثال التالى.

المثال:

ما هى القوة القوة العضلية (F) التى تشد بزاوية ٢٥ درجة وتكون كافية للاحتفاظ بوضع الذراع فى تبعيده وبميل ٢٠° عن المستوى الأفقى؟ علما بأن العضلة تندغم على مسافة ١٠,١٦سم من مفصل الكتف ووزن الذراع ٥,٨٨ كيلوجرام ويقع مركز ثقله على مسافة ٤,٧٢ من مفصل الكتف.

مع الأخذ فى الاعتبار بأن اليد تحمل ٤,٧٢ كيلوجرام وعلى مسافة ٥٨,٤٢سم من مفصل الكتف ومع الأخذ فى الاعتبار أيضاً أن بقاء الذراع فى هذا الوضع تساوى كل من العزوم فى إتجاه دوران عقارب الساعة مع العزوم فى الإتجاه العكسى أن (ξ ccw = ξ cw)

الحل: من شكل (٦١)

▲ هى محور الدوران

F= قوة العضلة

A= ذراع عزم الثقل (٤,٧٢ كيلوجرام).

B = ذراع عزم مركز ثقل الذراع (٥,٨٨ كيلوجرام)

C = ذراع عزم القوة (F).

العزوم فى إتجاه عقارب الساعة:

١ـ (أ) ٤,٧٢ × A = (٤,٧٢ × ٥٨,٤٢) جيب تمام الزاوية ٥٢٠

(ب) ٥,٨٨ × B = (٥,٨٨ × ٤,٧٢) جيب الزاوية ٥٢٠

٢ـ العزوم فى إتجاه عكس عقارب الساعة

جيب الزاوية ٢٥ × ١٠,١٦ × F = F × C

أى أن

F×١٠,١٦×جيب ٢٥=٢٧٥,٧٤ جيب تمام ٢٠+٢٧,٧٥ جيب تمام ٢٠

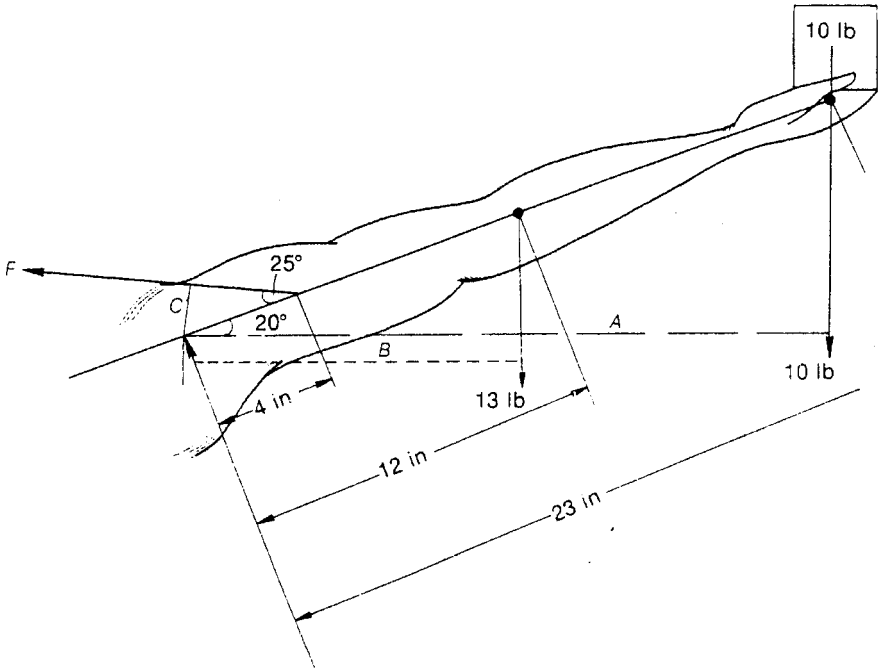
$$F = \frac{(,٩٤٠ \times ٢٧,٧٥) + (,٩٤٠ \times ٢٧٥,٧٤)}{(,٤٢٢ \times ١٠,١٦)}$$

F = ٦٦ نيوتن

أى أنه لكى يتوازن الذراع فى الوضع المشار إليه فى الشكل يجب أن تبذل العضلة قوة مقدارها (٦٦ نيوتن تقريباً).

الروافع:

إن الآلة البسيطة التى تعمل فى ظل قانون العزوم تعرف بالرافعة، فهى عبارة عن جسم متماسك يدور حول نقطة ثابتة عندما يتعرض لقوة بهدف التغلب على مقاومة. وعندما يحدث ذلك فإن الرافعة تؤدى وظيفتين رئيسيتين، فهى بهذا الأسلوب تساعد على التغلب على المقاومات الكبيرة التى تفوق مقدار الجهد المبذول أما أنها تساعد فى زيادة المسافة التى يمكن أن تتحركها المقاومة من خلال بذل جهد أكبر من قيمة هذه المقاومة، أما عندما لا يكون هناك حركة فإن العزم الناتج عن الجهد المبذول، يعادل العزم الناتج عن المقاومة، وهنا يقال أن الرافعة فى حالة توازن.



Solution

▲ = axis
F = force of muscle
A = moment arm for 10-lb weight
B = moment arm for 13-lb arm
C = moment arm for F

To balance, clockwise moments must equal counterclockwise moments.

1. *Clockwise moments*
   a. 10 lb × A = 10 × 23 cos 20°
   b. 13 lb × B = 13 × 12 cos 20°
2. *Counterclockwise moments*
   a. $F \times C = F \times 4 \sin 25°$
3. CW = CCW
   $F \times C = (10 \times A) + (13 \times B)$
4. $230 \cos 20° + 156 \cos 20° = 4 \sin 25° \times F$
5. $F = \dfrac{230 \cos 20° + 156 \cos 20°}{4 \sin 25°}$
6. $F = \dfrac{(230 \times .940) + (156 \times .940)}{4 \times .422}$

$$F = \frac{362}{1.69} = 215 \text{ lb}$$

شكل (٦١)

مثال للجمع الاتجاهى لعزوم العضلات ، فى الوضع الموضح فى الشكل

الروافع الخارجية:

تستخدم الروافع بشكل مكثف فى حياتنا اليومية، فالمطبخ يحتوى على عدد كبير من هذه الروافع منها على سبيل المثال فتاحات العلب وفتاحات زجاجات المياه الغازية والمقص. . .الخ. هذا بالإضافة إلى الأعداد الكبيرة من هذه الروافع فى ورش العمل وفى الحديقة وفى الأعمال اليدوية بشكل عام.

ولكن ما الذى تفعله هذه الأدوات البسيطة حتى تتخذ هذه الأهمية ويصبح الاستغناء عنها أمراً مستحيلاً؟

مهما اختلفت أشكال هذه الروافع بين البسيط منها أو المعقد، فهى عبارة عن عمودين متماسكين، إذا ما أثرت قوة فى أحدهما، فإنه يتحرك حول نقطة ثابتة تسمى بالمحور ويساعد فى التغلب على مقاومة قد تكون فى بعض الأحيان مجرد وزنها. وجميع الروافع الخارجية المستخدمة وضع تصميمها على أساس استعمال مقدار محدد من القوة فى التغلب مقاومات كبيرة نسبياً، وفى مثل هذا النوع من الروافع تكون حركة المقاومة المراد التغلب عليها محددة نسبياً، فى حين يكون مدى حركة القوة المبذولة أكبر. فخلع مسمار من قطعة من الخشب لا تتعدى فيه حركة المسمار عدة سنتيمترات.

فى حين تتحرك يد الآلة المستخدمة فى ذلك لمسافة أكبر، أى بمعنى أن القوة المطلوبة للتغلب على مقاومة ما يمكن الحصول عليها من خلال مدى حركى واسع.

وتعتبر المضارب المستخدمة فى العديد من الرياضات كمضارب الجولف والهوكى والتنس والاسكواش. .الخ، عبارة عن روافع، ولكنها تؤدى وظائف حركية عكس ما أشرنا إليه، فمضرب الجولف على سبيل المثل فى اكتساب مدى حركى واسع على حساب القوة المبذولة، فطول ذراع المضرب يجعل بالسهولة إمكانية تحريك الحافة المستخدمة فى المضرب فى مدى حركى واسع واكتسابها سرعة خطية عالية.

ومضارب التنس والاسكواش والهوكى، هى نماذج لروافع تستخدم فى اكتساب الكرات مسافات وسرعات كبيرة وذلك على حساب القوة المبذولة، إذا ما قورنت بالروافع المستخدمة فى الحياة اليومية، فالهدف الأساسى منها هو زيادة المدى الحركى وبالتالى زيادة السرعة فى نهاية الرافعة.

فعند ضرب كرة التنس بالمضرب على سبيل المثال، يؤدى ذلك إلى زيادة سرعة الكرة وانتقالها لمسافة أبعد مما إذا تم أداء ذلك باستخدام اليد فقط، وذلك

لأن مقدمة المضرب تتحرك فى مدى حركى أوسع لابتعادها عن محور الدوران (مفصل الكتف) وبالتالى بسرعة محيطية عالية مما يمكن أن تحققه اليد وحدها.

وتعتبر أرجوحة الأطفال من الأمثلة التى توضح معنى الرافعة بكل تفاصيلها، فإذا ما تساوى وزنى الطفلين على جانبى الأرجوحة وتساوت المسافات بين مكان كل طفل ومحور الأرجوحة، حدث التوازن، ولا تتحرك الأرجوحة إلا إذا تحرك أحد الطفلين فغير من طول ذراع عزمه سواء بالزيادة أو النقص فيكون ناتج العزمين غير متعادل.

الروافع التشريحية:

إن كل ما تناولناه عن مفهوم الروافع فى الحياة العامة، له تطبيقاته العملية فى الجهاز الهيكلى للإنسان، فكل عظمة من عظام الجسم وبخاصة الأطراف، ينظر لها على أنها رافعة، فالعظمة فى حد ذاتها تعمل كقضيب متماسك فى حين يعمل المفصل كمحور للرافعة، يمثل الانقباض العضلى مصدرا للقوة. والأجزاء الكبيرة فى الجسم مثل الجذع والطرف العلوى والطرف السفلى، يمكن أن يمثل روافع إذا ما استخدمت كوحدة واحدة، فعند رفع الذراع جانباً على سبيل المثال، فهو يعمل ضمن رافعة بسيطة، مركزها هو محور مفصل الكتف تمثل القوة فى هذه الحالة فى انقباض العضلة الدالية فى حين يمثل وزن الذراع نفس المقاومة المراد التغلب عليها، ونقطة تأثير القوة هنا فى هذه الحالة هى نقطة إندغام العضلة الدالية فى عظام العضد، فى حين تكون نقطة تأثير المقاومة مركزه فى مكان مركز ثقل الذراع ككل، وعند رفع ثقل ما فتكون نقطة تأثير المقاومة هنا هى مكان مركز ثقل الذراع بالإضافة إلى مكان الثقل وبالتالى فسوف تتواجد هذه النقطة على مسافة ما بين مركز ثقل الذراع ومكان الثقل وأقرب ما يكون لليد، وإذا ما كان الثقل أكثر وزناً نسبياً، فإنه يمكن إهمال وزن الذراع وبالتالى تحديد نقطة تأثير المقاومة فى مركز الثقل المرفوع.

وليس بالضرورة أن تتشابه الروافع التشريحية من القضبان المستخدمة فى الروافع الميكانيكية، فعظام الجمجمة وحزام الكتف وفقرات العمود الفقرى

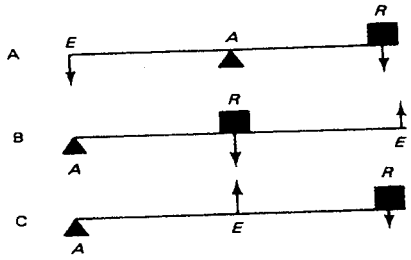
لاينطبق عليها شكل الرافعة التقليدى، كما أن نقطة تأثير المقاومة فى كثير من الأحيان يصعب تحديدها فى هذه الروافع التشريحية، فليس من السهل دائماً تحديد ما إذا كانت المقاومة هى وزن الرافعة نفسها أم أنها عبارة عن مقاومة عمل العضلات المضادة أو الأربطة والأوتار التى يتطلب حدوث الحركة ارتخائها أو عدم مشاركتها فى العمل. فعلى سبيل المثال، عندما يتم لف الرأس جهة اليمين، فإن نقطة تأثير المقاومة من الممكن أن تكون مركز ثقل الرأس نفسها والتى يمكن تحديدها تقديرياً، أما إذا تمت مقاومة هذا اللف عن طريق عمل مضاد باليد فسوف تكون نقطة تأثير المقاومة فى هذه الحالة هى النقطة المتوسطة لمساحة اليد المقاومة للف. وإذا ما تم لف الرأس بدون مقاومة خارجية ولكن فى مدى حركى يقترب من نهاية المدى الحركى المسموح فإن مقاومة الحركة هنا سوف تكون بفعل عمل العضلات المضادة، وكذلك الأربطة والأوتار. وتكون نقطة تأثير المقاومة هنا هى النقطة المتوسطة فى المساحة التى تعمل فيها كل هذه المقاومات لمنع لف الرأس، وتحديد هذا المكان يعتبر من الموضوعات الصعبة.

أنواع الروافع:

من الأمثلة السابق الإشارة إليها، اتضح أهمية تحديد ثلاثة أماكن رئيسية فى أى رافعة، وهى النقطة أو المحور الذى تدور حوله الرافعة، والنقطة التى يؤثر فيها الجهد المبذول، والنقطة التى تعمل عليها المقاومة وهذا يعنى ضرورة تحديد ثلاثة أماكن رئيسية على أى رافعة، وبما أن هناك ثلاثة أماكن محددة، فإن إهمال تنظيم وجود هذه الأماكن بالنسبة لبعضها هو الذى يحدد لنا أى من أنواع الروافع تكون هذه الرافعة، فأى من هذه الأماكن الثلاثة يمكن أن يتواجد بين المكانين الآخرين، لذا فإن القاعدة الأساسية لتصنيف أو تحديد نوع الرافعة هى علاقة هذه الأماكن الثلاثة ببعضها.

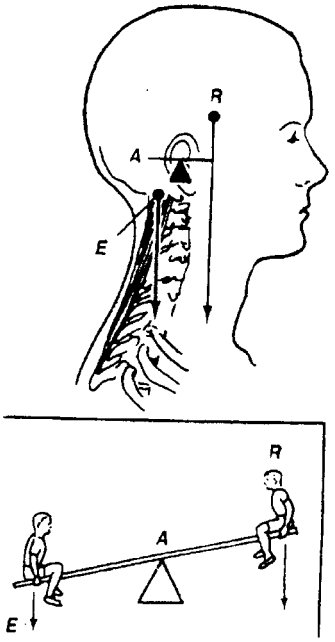
١ـ ففى النوع الأول من الروافع، يقع المحور بين كل من نقطة تأثير القوة والمقاومة.

٢ـ أما فى النوع الثانى فتقع نقطة تأثير المقاومة بين كل من المحور ونقطة تأثير القوة.



E = الجهد
A = محور الرافعة
R = الوزن أو المقاومة

شكل (٦٢) أنواع الروافع (أ) النوع الأول (ب) النوع الثانى (جـ) النوع الثالث



شكل (٦٣)
عمل الرأس كنوع أول من الروافع حيث (أ) هو مكان المحور ، (ت) هو مكان تأثير القوة ، (ر) مكان المقاومة.

٣ـ فى حين تقع نقطة تأثير القوة بين المحور ونقطة تأثير المقاومة فى النوع الثالث شكل (٦٢).

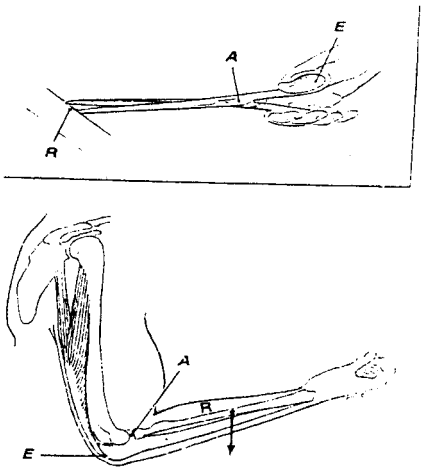
النوع الأول: إن من أبسط صور هذا النوع، أرجوحة الأطفال، والميزان، والمقص، وآلة رفع السيارة ورأس الإنسان فى حركتها أماماً وخلفاً تعتبر مثالاً جيداً لهذا النوع فى الجسم البشرى شكل (٦٣) حيث يوجد محور الرافعة، على المستوى الفراغى الأمامى وفى نقطة متوسطة بين الأذنين تقريباً، والقوة هنا تمثلها العضلات المادة للرأس وبخاصة العضلة (الطحالية Splonius الجار

فقارية Semispinalis) وهى تعمل على الرأس عند قاعدة الجمجمة. أما المقاومة فتتمثل فى وزن الرأس نفسها، ويعتبر تحديد مكان تركيز المقاومة من الأمور الصعبة، فإذا ما تحركت الرأس بسهولة كما هو الحال فى أرجوحة الأطفال، فإنه يمكن اعتبار مركز المقاومة نقطة تقع فى الجزء الأمامى من الرأس، عندما يتم عمل مد زائد، وقد يضاف إليها مقاومة جديدة تتمثل فى عمل العضلات المضادة لهذه الحركة بالإضافة إلى طبيعة الأربطة فى هذا المكان، وبالتالى فإن التحديد الدقيق لنقطة تأثير المقاومة يكون هو المكان المتوسط بين أماكن عمل كل هذه المقاومات.

ومن أمثلة النوع الأول أيضا من الروافغ، عمل القدم ولكن ليس فى وضع الوقوف، كما هو الحال مثلا فى وضع الجلوس بوضع إحدى الرجلين فوق الأخرى، فعند عمل العضلة النعلية بالشد لأعلى عند الكعب يتحرك القدم فى اتجاه الساق حيث يوجد محور الدوران داخل مفصل القدم. وهنا تكون المقاومة عبارة عن توتر العضلات العاملة على تحريك القدم فى الإتجاه العكسى، وفى هذه الحالة لا يدخل وزن القدم حسابات المقاومة، حيث أن مفصل القدم يكون فى وضع ارتخاء فى هذه الحالة.

وتتغير الصورة تماما فى حالة الانبطاح على الأرض، مع ثنى الركبة لكى يتجه الساق رأسيا لأعلى فإذا ما تم قبض القدم فى إتجاه الساق فإن وزن القدم يدخل فى حساب المقاومة.

وحركة الساعد، تعتبر نموذجا آخر من نماذج الروافع من النوع الأول، وذلك فى حالة مدها عن طريق عمل العضلة ذات الثلاثة رؤوس العضدية ضد مقاومة، شكل (٦٤). فالمحور فى هذه الحالة هو محور مفصل المرفق. والقوة تؤثر فى نقطة هى النتوء المرفقى أما المقاومة فهى وزن الساعد مركز فى مكان مركز ثقله وذلك فى حالة عدم وجود مقاومة خارجية، وفى منتصف اليد عند العمل ضد مقاومة، وهنا يجب ملاحظة عد وجود مقاومة داخلية فى هذه الحركة.

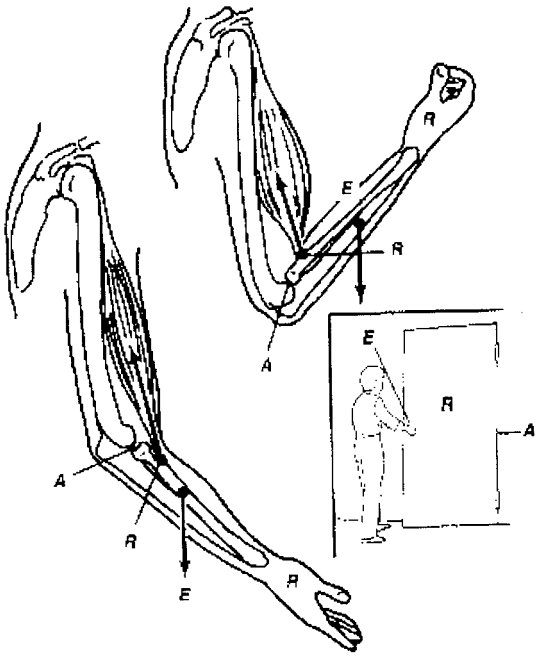


شكل (٦٤)
عمل الذراع كرافعة
من النوع الأول

النوع الثانى: ومن أمثلة النوع الثانى للروافع فى الحياة العامة، الأبواب، وعربة اليد، وكسارة البندق وأيا كان الحال، فهناك خلاف كبير بين عملاء التشريح وعلماء الحركة فى تحديد عمل هذا النوع من الروافع فى جسم الإنسان فالبعض يرى أنه عندما تعمل القدم فى وضع القبض فى إتجاه باطن القدم فى وضع الوقوف أى عند الوقوف على المشطين، فإنه يمكن اعتبار الرافعة فى هذه الحالة من النوع الثانى، حيث يعتبر المحور هو نقطة اتصال الأمشاط بالأرض، ومكان تأثير القوة، عند الكعب حيث يمر وتر أكيلس ومكان المقاومة هو خط ثقل الجسم الذى يمر بمفصل القدم.

ومن أمثلة هذا النوع أيضا، هو قبض الساعد على العضد فى حالة عمل العضلة العضدية الكعبرية فقط ولكن هذه الحالة لا تحدث إلا فى حالة شلل باقى العضلات القابضة.

وهناك العديد من الروافع من النوع الثانى فى حالة ما إذا ساهمت الجاذبية الأرضية فى العمل وكأن عمل العضلات هنا لمقاومة الحركة أو التحكم فيها من خلال العمل بالتطويل ومن أمثلة ذلك مد الساعد لأسفل ببطىء، حيث يوجد المحور فى مفصل المرفق، فى حين تمثل القوة فى عمل العضلة العضدية وتتركز فى مكان إندغامها حيث أنه خلال العمل بالتطويل

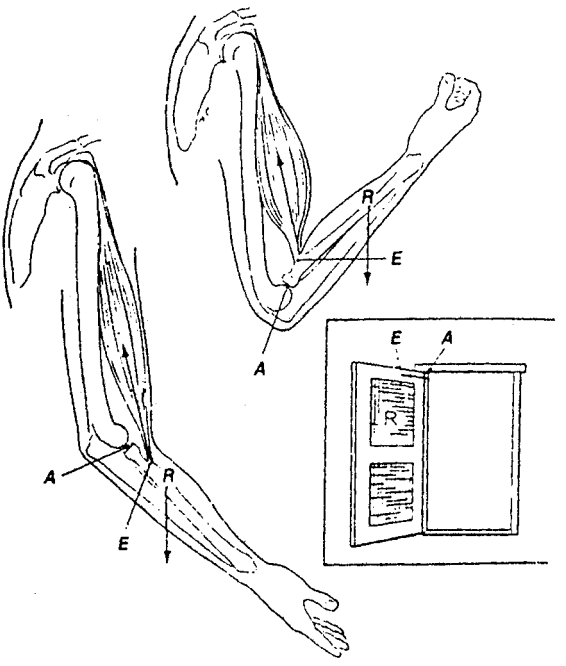


شكل (٦٥)
عمل الذراع
كرافعة من
النوع الثانى

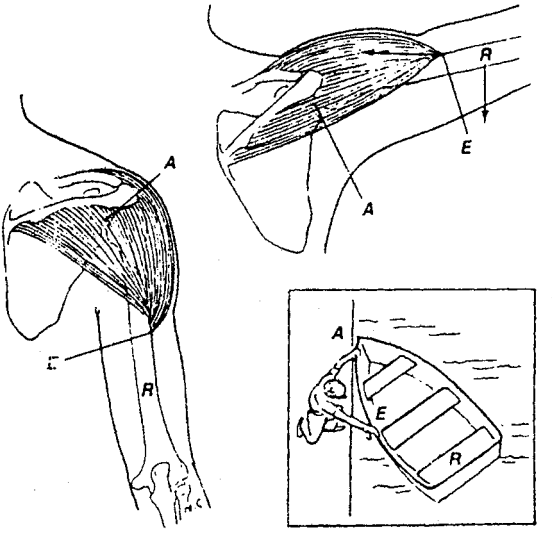
تقاوم هذه العضلة حركة الساعد لأسفل شكل (٦٥) ومن أمثلة هذا النوع أيضا، خفض الرجل من مفصل الركبة من وضع المد إلى وضع القبض، حيث يوجد المحور فى مفصل الركبة فى حين يتمثل الجهد المبذول فى مركز ثقل الرجل المرفوعة، والمقاومة فى عمل العضلة ذات الأربعة رؤوس الفخذية بالانقباض بالتطويل مركزا فى مكان إندماغها فى الحدبة القصبية.

النوع الثالث:

لا يوجد فى الحياة العملية نماذج عديدة لهذه النوع من الروافع، حيث أن نماذج الروافع من النوع الثالث محددة جداً، منها على سبيل المثال الأبواب الهزازة أما بالنسبة للروافع التشريحية من هذا النوع فهى عديدة، فمعظم أجزاء الجسم التى تتحرك بفعل العمل العضلى تعتبر روافع من النوع الثالث، والساعد يعتبر نموذجاً جيداً لهذا النوع، وذلك عند قبضة عن طريق العضلة ذات الرأسين العضدية والعضلة العضدية، شكل (٦٦)، وكذلك المثال السابق الإشارة إليه فى رفع الذراع أماماً أو جانباً شكل (٦٧).



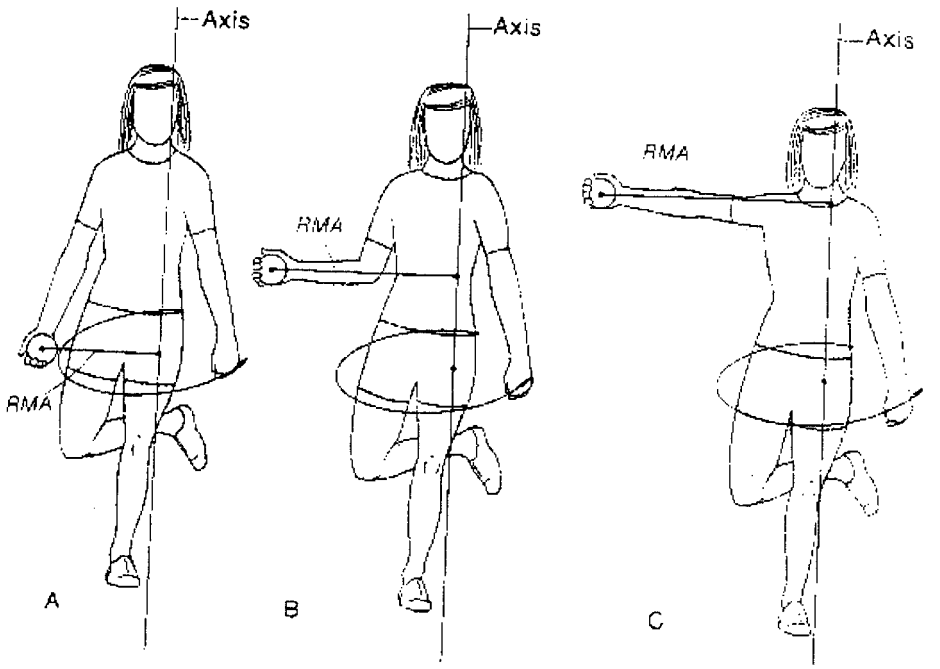
شكل (٦٦)
عمل الذراع كرافعة
من النوع الثالث



شكل (٦٧)
عمل العضد كرافعة
من النوع الثالث

ذراع الرافعة:

يعرف ذراع الرافعة عادة بأنه الجزء الموجود بين محور الرافعة ونقطة تأثير القوة، أما ذراع الجهد فهو المسافة بين محور الرافعة، ونقطة تأثير هذا الجهد،



شكل (٦٨) مدى الحركة باختلاف طول ذراع العزم

ومثل هذه التعريفات صالحة الاستخدام عندما يكون كل من الجهد أو المقاومة، يعملان بزاوية قائمة على الرافعة، أما عندما يكون اتجاه المقاومة تتخذ نفس الزاوية ولكن هذه الزاوية ليست قائمة، فهذا التحديد لا يكون دقيقاً، وأفضل تعريف لذراع الرافعة، بغض النظر عن زاوية تأثير القوة هو ما يطلق عليه بذراع العزم. حيث أن ذراع الرافعة يعنى ذراع عزمها من الناحية العملية، وقسمى المسافة العمودية بين المحور وخط عمل القوة أو الجهد بذراع عزم الجهد أو ذراع الجهد (EMA) كما تسمى المسافة العمودية بين المحور وخط عمل المقاومة بذراع عزم المقاومة (RMA) أو ذراع المقاومة، وفى شكل (٦٨) يستخدم هذين الرمزين للتعبير عن ذراع عزم كل من القوة أو الجهد وذراع عزم المقاومة.

مبدأ الروافع:

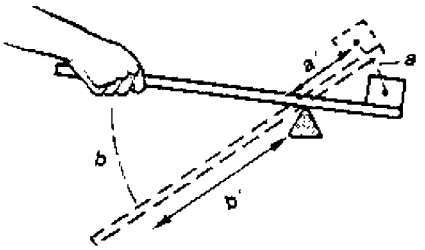
تتوازن أى رافعة من أى نوع عندما يكون كل من الجهد أو القوة وذراع عزمها مساويا للمقاومة وذراع عزمها ويسمى هذا بمبدأ الروافع، وهذا المبدأ يمكننا من حساب مقدار الجهد المطلوب لتحقيق التوازن فى حالة معلومية مقدار المقاومة، عن طريق معرفة نوع الرافعة، أو لحساب النقطة التى يجب أن يتواجد عندها المحور لتحقيق التوازن ضد مقاومة معلومة، بمقدار معين من الجهد أو القوة. فإذا ما تم معرفة ثلاثة متغيرات من الأربعة فإنه يمكن حساب المتغير الرابع وذلك باستخدام المعادلة

$$F \times EMA = R \times RMA$$

حيث أن الجهد × ذراع الجهد = المقاومة فى ذراع المقاومة.

وهذا المبدأ سبق بالفعل دراسته فى عملية جمع العزوم، فعندما يكون عزم القوة على أحد الجانبين مساوياً لعزم القوة على الجانب الآخر فسوف يتحقق التوازن، فالمقدار (ExEMA) هو عزم القوة، فى حين أن المقدار (RxRMA) هو عزم للقوة الأخرى. وعند تطبيق ذلك على شكل (٦٨) فإن ذلك يعنى إمكانية تحقيق التوازن للثقل المحمول باليد عندما يكون ناتج هذا الثقل والمسافة العمودية بين خط تأثيره وبين المحور (RxRMA) مساويا لناتج الانقباض العضلى والمسافة العمودية بين خط شد العضلة ومحور المفصل (ExEMA).

وتوضح معادلة توازن الرافعة، أهمية طول ذراع عزم القوة، فى تحديد مقدار الجهد المطلوب لتحقيق التوازن ضد أى مقاومة، فإذا ما كان ذراع عزم القوة أو الجهد (EMA) من ذراع عزم المقاومة (RMA) فإن الجهد المطلوب لتحقيق التوازن يكون أقل، ومن ناحية أخرى إذا ما زاد طول ذراع عزم المقاومة، فإن مقدار القوة أو الجهد المطلوب لتحقيق هذا التوازن يجب أن يزيد، ولهذا السبب يتطلب النوع الثانى من الروافع جهداً أقل لتحقيق التوازن، أو لتحريك مقاومات كبيرة فى حين أن النوع الثالث يتطلب جهداً أكبر من المقاومة لكى يوازنها أو يحركها (شكل ٦٥ ، ٦٦). أما النوع الأول فقد يتطلب طول ذراع عزم قوة ذراع عزم مقاومة فى ضوء مكان المحور شكل (٦٣ ، ٦٤).



$a < b$
$a' < b'$
$\frac{b}{a} = \frac{b}{a}$

شكل (٦٩)
زيادة مدى الحركة
بزيادة طول ذراع
الرافعة

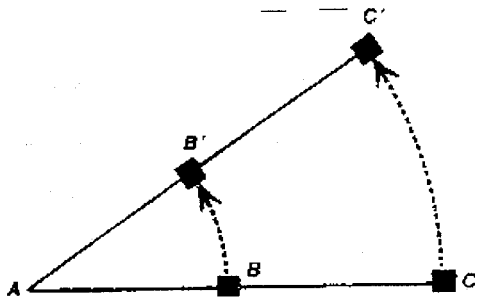
والرافعة ذات ذراع القوة الأطول سواء فى النوع الأول أو الثانى تعرف بالرافعة المتميزة حيث القوة، فهى تحتاج إلى جهد قليل للتغلب على المقاومة، وهذه الميزة تزيد من مدى الحركة وسرعتها، فالمقاومة الأثقل تتحرك دائماً خلال مسافات صغيرة بالمقارنة بالمسافة التى تتحركها القوة، شكل (٦٩) وعلى العكس من ذلك، فالرافعة ذات ذراع عزم مقاومة أطول، أياً كان نوعها سواء من النوع الأول أو الثالث، تعرف بالرافعة المتميزة من حيث السرعة والمسافة، حيث أنها تحتاج إلى جهد أكبر لتحريكها عما هو الحال فى حالة تغيير طول ذراع العزم إلى العكس.

ويزيد على ذلك أن الأجسام ذات الأوزان التى يمكن إهمالها، يمكن أن تتحرك لمسافات كبيرة وبسرعات عالية، باستخدام هذا النوع من الروافع.

علاقة السرعة بالمدى الحركى فى الرافعة:

يجب الأخذ فى الاعتبار بأنه عند مناقشة موضوع الروافع، يعتبر كل من المدى الحركى والسرعة، متغيرين مرتبطين ارتباطاً وثيقاً، ولهذا الارتباط أسبابه، ففى الحركة الدورانية هناك ارتباط بين السرعة والمدى الحركى.

فعلى سبيل المثال، إذا تحركت رافعتين من النوع الثالث لمدى حركى زاوى مقداره ٤٠ درجة وكان ذراع عزم هاتين الرافعتين مختلف، وتمت الحركة فى نفس الوقت، وبنفس السرعة الزاوية، فإن نهاية الرافعة الأطول سوف تقطع مسافة أكبر أو مدى أوسع من الرافعة الأقل طولاً. ونظراً إلى أنها تتحرك هذه المسافة فى نفس الوقت الذى تتحرك فيه نهاية الرافعة الأقل طولاً، فإن ذلك يعنى أنها تتحرك بسرعة أعلى، ويمكن ملاحظة ذلك بسهولة، إذا ما قورن



شكل (٧٠)
مقارنة بين رافعتين
إحداهما أطول من
حيث مدى الحركة

عمل الرافعتين معاً، كما هو الحال فى شكل (٧٠). حيث أن الرافعة الأقصر (AB) تعتبر جزء من الرافعة الأطول (AC)، فإذا ما تحركت الرافعتين من المستوى الأفقى، حتى الزاوية ٤٠ درجة بعد الأفقى، حيث تتحرك النقطة (C) إلى وضعها الجديد (C^1) فى نفس الزمن الذى تتحرك فيه النقطة (B) إلى وضعها الجديد (B^1) فسوف نلاحظ أن المسافة التى تحركتها النقطة (C) أكبر بكثير من المسافة التى تحركتها النقطة (B) وقد تصل إلى ضعفها. وبالتالى فإن ذلك يعنى أن سرعة النقطة (C) أكبر بكثير من سرعة النقطة (B).

باستثناء بعض الحالات، يكون ذراع عزم القوة أو الجهد فى الجهاز الهيكلى بصفة عامة أقصر من ذراع عزم المقاومة، لذا فإن الروافع التشريحية تميل دائما إلى أن تكون من النوع الذى يسمى بالروافع المتميزة من حيث السرعة واتساع المدى على حساب الجهد المبذول.

ومن أمثلة ذلك ركل الكرة، حيث تتحرك القدم مسافة كبيرة لتحقيق سرعة عالية ويتطلب ذلك قوة عضلية عالية، رغم أن وزن الكرة يعتبر خفيفاً إلى حد كبير، وهذا النوع من العمل هو عكس ما يشاهد فى الروافع الميكانيكية كرافعة السيارة أو العتلة، حيث يستخدمان فى تحريك مقاومات عالية الوزن لمسافات صغيرة.

والأدوات الرياضية التى تعمل كروافع بذاتها أو بإضافة طول إلى الذراع، تعتبر أيضا روافع من النوع المتميز بالسرعة العالية والمدى الحركى الكبير على حساب الجهد المبذول، حيث تعمل هذه الأدوات بالإضافة إلى الذراع ورسغ اليد كوحدة واحدة فى الرافعة، ففى ضربة الإرسال فى التنس، يعمل الجذع

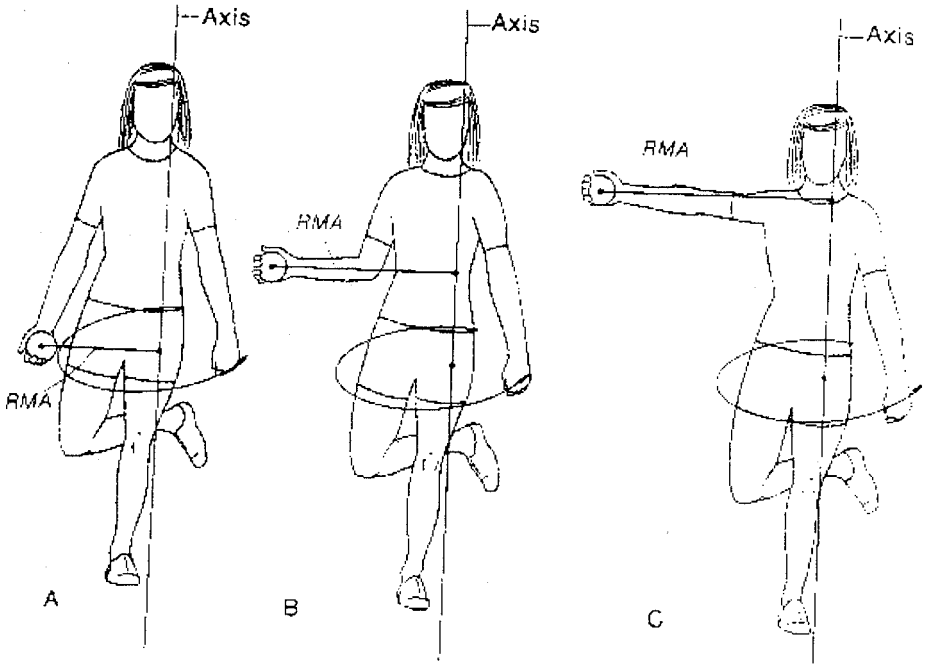
كرافعة والعضد كرافعة أخرى والساعد كرافعة ثالثة ورسغ اليد مع المضرب كرافعة رابعة، وكل هذه الروافع تعمل معاً كنظام معقد لتوليد سرعة عالية فى نهاية المضرب حتى يمكن أن تنتقل هذه السرعة إلى الكرة لحظة ضربها.

اختيار الرافعة:

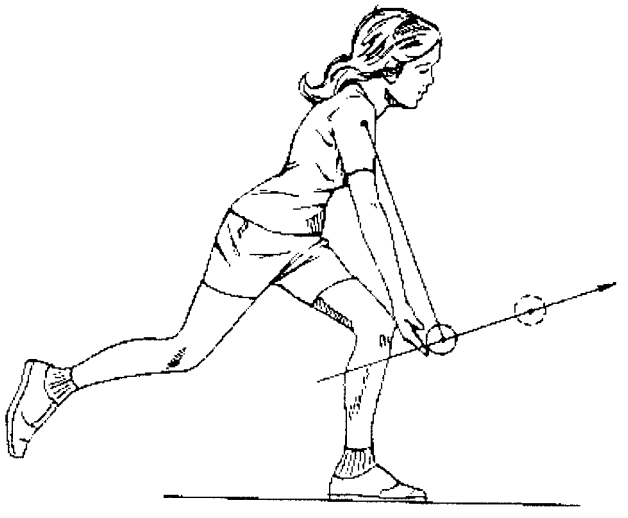
يعتمد الأداء المهارى على فعالية اختيار الروافع، سواء الداخلية أو الخارجية، فمضرب الجولف أو الهوكى الطويل ذو الوزن الأكبر يرسل الكرة لمسافات أبعد، فى حين أن المضارب القصيرة تستخدم فى توجيه الكرة بدقة، كما أن لمضارب التنس والاسكواش أوزان متباينة تتناسب مع المراحل العمرية.

وعادة ما تصمم الرافعة الخارجية لأداء وظيفة محددة ويتم اختيارها بناءاً على متطلبات هذه الوظيفة أو العمل أما بالنسبة لروافع الجسم البشرى، فلم تصمم بهدف أداء وظيفة بعينها. فأجزاء الجسم متنوعة الأشكال ومتنوعة التمفصل وبالتالى فهى متنوعة الاحتمالات الحركية، وحسن الأداء المهارى يترتب على حسن اختيار وتحديد محاور الحركة فى المفاصل، ودور العضلات العاملة على هذه المفاصل وتحديد ذراع العزم المناسب.

ويوضح شكل (٧١) أن الكرة المحمولة فى اليد تتحرك فى اتجاه عكس عقارب الساعة إذا ما نظرنا إليها من أعلى، حيث دوران الحوض الذى يحدث حول مفصل الفخذ الأيسر، فى حين أن الحوض يحمل الجذع ولكن الحركة الوحيدة فى هذا المثال هى حركة مفصل الفخذ الأيسر، وفى الأوضاع الثلاثة فى الشكل، يكون ذراع عزم المقاومة عموديا على محور المفصل وبالتالى فإنه يبدو واضحاً أن سرعة دوران الكرة فى الوضع (A) هى الأقل وفى الوضع (C) هى الأكبر حيث أن ذراع عزم المقاومة فى كل وضع من الأوضاع الثلاثة مختلف وهو أكبر ما يكون فى الوضع (C) رغم أن سرعة الدوران واحدة فى الحالات الثلاثة، وبالعودة إلى شكل (٧٠) فإذا كان قبض الكتف هو العمل المطلوب فإن وضع الذراع الذى يتيح أعلى سرعة خطية للكرة لحظة تركها هو الوضع الذى يكون فيه مفصل المرفق فى كامل امتداده ويكون الذراع عمودياً على إتجاه الرمى المطلوب كما هو موضح فى شكل (٧٢).



شكل (٧١) مدى الحركة باختلاف طول ذراع العزم



شكل (٧٢)
حركة الذراع وهى
مفرودة سوف تحقق
سرعة عالية فى الجسم
المقذوف

وليس بالضرورة أن يكون اختيار الرافعة هو الهدف فى كل الأداءات، فوضع أجزاء الجسم بالشكل الذى يحقق توافر رافعة قصيرة تعمل على زيادة السرعة الزاوية لطرف الرافعة، لنقل هذه السرعة بعد ذلك إلى سرعة خطية

عالية فى الطرف البعيد للرافعة، ومحاولة أداء حركات ذات سرعات عالية باستخدام روافع طويلة الذراع يتطلب بذل قدر أكبر من القوة، للمحافظة على السرعة الزاوية المناسبة لهذا الطول. وهذا ما يفسر عملية قبض المرفق فى الضربات الأمامية فى التنس إذا ما استخدم مضرب ثقيل.

المميزات الميكانيكية للروافع:

إن الحكم على قدرة أى رافعة يتم من خلال تحديد فعاليتها ولكن كيف يتم قياس هذه الفعالية؟ نظراً إلى أن الماكينات المستخدمة فى المصانع أو الورش صممت بهدف زيادة فعالية القوة، فقد جرت العادة على قياس قدرتها بوحدات الفعالية. أو بمعنى آخر قدرتها على توجيه القوة، ويسمى البعض هذه الفعالية بنواتج أو مخرجات عمل الماكينة مقارنة بمدخلاتها وتحسب هذه الفعالية فى عمل الروافع. بالنسبة بين الجهد المبذول على الرافعة والمقاومة التى يتم التغلب عليها. حيث يمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة التى تحسب الفعالية الميكانيكية للرافعة بالنسبة بين المقاومة والجهد.

$$MA = \frac{R}{E}$$

فى حين أن توازن الرافعة يعبر عنها بالمعادلة

$$MA = \frac{R}{E}$$

وهذا يعنى أنه يمكن التعبير عن الفعالية الميكانيكية للرافعة، من خلال ذراع العزم لكل من الجهد المبذول والمقاومة حيث (EA) هى ذراع الجهد أو القوة، (RA) هى ذراع المقاومة وبالتالى فإن:

$$MA = \frac{R}{E}$$

حيث (MA) هى الميزة الميكانيكية، (R) هى المقاومة، (E) هى الجهد أو القوة. وهذا يعنى أنه يمكن أن تتخذ المعادلة الصيغة التالية:

$$MA = \frac{R}{E}$$

فعندما يقال إن العضلة ضعيفة من حيث عملها كمصدر للقوة أو الجهد فى رافعة، فإن ذلك يعنى أن فعاليتها الميكانيكية ضعيفة، أى بمعنى أن ذراع عزمها قصير بمقارنته بذراع عزم المقاومة.

تحديد وتحليل عمل الرافعة:

يوضح شكل (٦٣) ، (٦٧) السابقة أنواع مختلفة من الروافع التشريحية ودورها الميكانيكى، ويساعد ذلك فى فهم مبدأ الروافع، وتطبيقه على الجسم البشرى كما يساعد فى ملاحظة كيفية عمل الرافعة التشريحية والروافع العامة المستخدمة فى حياتنا اليومية.

وأياً كان نوع الرافعة أو طبيعة عملها، فإنه من الضرورى أن يؤخذ فى الاعتبار بالإجابة على عدة أسئلة من أهمها:

١ـ أين مكان محور الرافعة ومكان تأثير الجهد أو القوة وكذلك مكان تأثير المقاومة؟

٢ـ ما هى زاوية تأثير القوة أو الجهد؟ وما هى زاوية تأثير المقاومة؟

٣ـ ما هو ذراع الجهد أو القوة؟ وما هو ذراع المقاومة؟

٤ـ ما هى علاقة طول كل من ذراع القوة بذراع المقاومة؟

٥ـ ما هو نوع الحركة التى تؤديها الرافعة؟

٦ـ ما هى الميزة الميكانيكية لهذه الرافعة؟ ومن أى نوع تكون؟

قوانين نيوتن فى الحركة الدورانية:

عند تطبيق قوانين نيوتن الثلاثة على الحركة الدورانية فإنه يمكن صياغتها على النحو التالى:

(أ) يستمر الجسم فى سكونه أو حركته الدورانية المنتظمة حول محوره، ما لم يؤثر عليه عزم خارجى يغير من حالته.

(ب) عجلة دوران الجسم تتناسب طردياً مع مقدار العزم المسبب لها وفى نفس اتجاهه، وعكسياً مع تصور دوران الجسم، (عزم القصور الذاتى).

(جـ) عندما يؤثر جسم ما بعزم على جسم آخر فسوف يؤثر الأخير بعزم مساوى ومضاد على الجسم الأول.

ويتضح أن هذه القوانين بهذه الصورة ما هى إلا الشكل الدورانى من الحركة ولا اختلاف فى أساسياتها لكى يتم تطبيق قوانين نيوتن للحركة على الحركات الدوانية، فإنه يجب التعرف على الخصائص الدورانية التى تعادل مثيلتها فى الحركة الخطية، وبخاصة الكتلة وكمية الحركة والقوة.

جدول (٥)

الوحدة	الحركة الخطية	الحركة الدورانية
المسافة	s	θ (theta)
السرعة	v	w (omega)
العجلة	a	∝ (alpha)
الكتلة	m	I عزم القصور الذاتى
القوة	f	L العزم
معادلة القوة	f = ma	L = 1
كمية الحركة	mv	I w
الدفع	ft	lt
الشغل	fs	Lθ
القدرة	fv	sw
طاقة الحركة	$\frac{1}{2}$ mv^2	$\frac{1}{2}$ Iw^2

وسوف نلاحظ مدى التشابه بين وحدات الحركة الدورانية والحركة الخطية، فى كثير من المتغيرات إذا ما قورنت الوحدات ببعضها فى جدول (٥)

عزم القصور الذاتى:

فى مناقشتنا لقوانين الحركة لنيوتن، تناولنا مقدار مقاومة الجسم للتغيير فى حالته سواء كانت سكون أو حركة تحت مسمى القصور، وقصور الجسم فى حركته الانتقالية يتناسب طردياً مع كتلته. فكلما زادت كتلة الجسم كلما تطلب ذلك قوة أكبر لتحريكه وكذلك قوة أكبر لايقافه عن الحركة، وهذا هو الحال أيضاً فى الحركة الدورانية، فبمجرد أن يوضع الجسم فى حالة حركة وهو يلف فسوف يميل إلى الاستمرار فى اللف، وكما هو الحال فى الحركة الانتقالية فإن مقدار القوة المطلوب لإحداث هذا اللف أو لايقافه، يتناسب مع كتلة الجسم، فكلما زادت كتلة الجسم كلما تطلب ذلك قوة أكبر إلا أنه هناك عاملاً آخر يجب وضعه فى الاعتبار عند الحديث عن الحركة الدورانية، فلاعب المطرقة على سبيل المثال يعرف جيداً أن وضع المطرقة فى حالة دوران يتطلب جهداً أكبر من تحريكها

انتقاليا، وأن تخفيف سرعة هذا الدوران يحتاج أيضاً إلى جهد أكبر منه فى حالة ما إذا كانت المطرقة تتحرك حرة انتقالية، وهذا يعنى أن قصور المطرقة فى الحركة الدورانية يفوق كتلتها فى الحركة الانتقالية رغم أن مقدار ما تحتويه المطرقة من مادة لم يتغير. وهذه الزيادة الملحوظة فى قصور المطرقة من المؤكد أن لها أسباب.

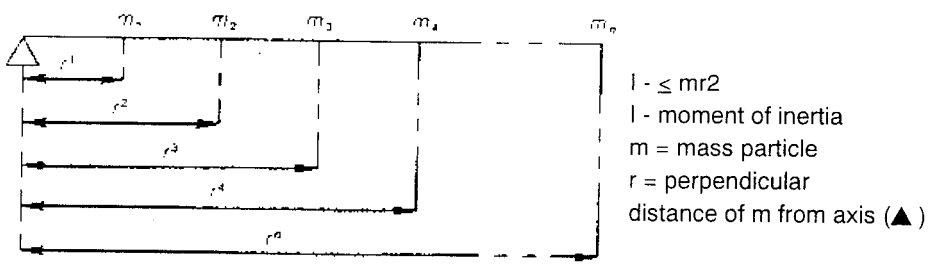
فبنفس الأسلوب، الذى يعتبر فيه العزم لكى يحدث حركة دورانية على كل من مقدار القوة والمسافة بين خط عملها ومحور الدوران، فإن قصور الجسم أثناء دورانه يتأثر بكل من الكتلة والمسافة بين هذه الكتلة ومحور الدوران.

فالكرة التى تدور عند نهاية حبل طويل يتصل بها، تكون أثقل من كرة أخرى تدور عند نهاية حبل أقصر، فمع زيادة المسافة بين الكتلة ومحور الدوران يزيد ثقل الكرة أى يزيد من قصورها.

وحجم أو مقدار القصور الدورانى، يعرف بعزم القصور الدورانى ويرمز له بالرمز (I) وهو يعتمد على كل من مقدار الكتلة التى تدور وتوزيعها بالنسبة لمحور الدوران. ويوضح ذلك المعادلة:

$$I = \xi\, mr^2$$

حيث (m) هى كتلة الجزء من الجسم الذى يدور، (r) البعد العمودى بين كتلة الجزء ومحور الدوران، وبناءاً على ذلك فإن عزم القصور الذاتى لأى جسم هو مجموع عزوم الأجزاء حول محور الدوران، محسوبة بضرب كتلة كل جزء فى مربع المسافة بينه وبين المحور. كما هو موضح فى شكل (٧٣).



شكل (٧٣) عزم القصور الذاتى حول أى محور هو مجموع عزوم الأجزاء حول نفس المحور مضروباً فى مربع المسافة بين كل جزء وهذا المحور

فإذا ما كانت كتلة الجسم مركزة فى نقطة قريبة من محور الدوران، فإنه يسهل تدويره، لقصر المسافة العمودية بين كل جزء ومحور الدوران، وبالتالى يقلل ذلك من عزم القصور الذاتى. أما إذا تركزت الكتلة فى نقطة بعيدة عن محور الدوران، فسوف يزيد ذلك من قصوره وبالتالى فإنه يتطلب قوة أكبر لوضعه فى حالة حركة أو لايقافه عن الحركة.

وفى جسم الإنسان يمكن تغيير توزيعات كتل الأجزاء بتغيير أوضاع الجسم، وبالتالى تغيير عزم قصوره الذاتى، فلاعب العدو، يمكنه أن يحرك الكره للأمام بشكل أفضل عندما تقوم فى حالة قبض عند مفصل الركبة عما يمكن أن يحدث لو تحركت الرجل وهى مفرودة، رغم أن كتلته واحدة فى كلا الحالتين. ولكنها تكون أقرب إلى محور الدوران عندما تكون فى حالة قبض ويكون قصورها الدورانى أقل فتتحرك أسرع.

وبالاستعانة ببعض البيانات عن الأوزان النسبية لأجزاء الجسم وأماكن مراكز ثقل هذه الأجزاء استطاع دايسون Dyson ١٩٧٠ أن يحسب مقدار عزم القصور الذاتى للجسم فى عدة أوضاع، حيث استخدم منصه دائرية تلف أفقياً حول محور ومقدار الاحتكاك فيها أقرب ما يكون إلى الصفر، وقد توصل إلى أن مقدار عزم القصور الذاتى لجسم شخص يقف على هذه المنصة فى وضع الذراعين جانباً يصل إلى ثلاثة أضعاف قيمته إذا ما كانت الذراعين أسفل.

أما عند الرقود على منضدة والذراعين جانباً بحيث يمر المحور الرأسى خلال مركز ثقل الجسم فإن عزم القصور الذاتى يصل إلى ١٤ ضعف.

وعزم القصور الذاتى لأجزاء الجسم يكون أقل حول المحور الطولى الذى يمر بمركز ثقله عند رفع الذراعين واقترابهم من الرأس ويكون أكبر، عندما يكون الجسم فى كامل امتداده ويدور حول اليدين كما هو الحال فى الدورانات الكبرى على جهاز العقلة.

وباستخدام طريقة تتشابه مع الطريقة المستخدمة لتحديد مكان مركز ثقل الجسم من خلال الأجزاء تمكن چيمس هاى J.Hay ١٩٧٨ من تحديد عزم

القصور الذاتى للجسم فى عدة أوضاع تقليدية ففى وضع التكور يكون مقدار عزم القصور الذاتى، حول المحور المار بمركز ثقل الجسم (٤,٨٥ سلوج - قدم^{٢}) فى حين يكون (٤,٩٨ سلوح - قدم^{٢}) فى الوضع المنحنى، (١١,١٥ سلوح - قدم^{٢}) فى كامل امتداده. وهذه المقادير توضح إلى أى مدى يزيد قصور الجسم بزيادة توزيع كتل أجزاءه بعيداً عن محور الدوران.

عجلة الأجسام فى حالة الدوران:

إن معادلة القانون الثانى لنيوتن فى حالة الحركة الخطية هى ($F=ma$) وهذا يعنى أنه يمكن وضعها فى صورتها الدورانية لكى تصبح ($L=I\alpha$) وهو ما يسمى بالقوة المدورة أو العزم الذى يساوى حاصل ضرب عزم القصور الذاتى فى العجلة التى يدور بها الجسم.

والارتباط بين معادلة الدوران ومعادلة الحركة الخطية يمكن إثباته بسهولة، فإذا ما تم ضرب طرف المعادلة ($F=ma$) فى (r) فسوف تأخذ المعادلة شكل ($Fr=mar$) وبما أن (Fr) تساوى العزم، (a) تساوى (αr) فإنه يمكن كتابة المعادلة على النحو التالى: ($L=mr^2\alpha$) وهذا بالإضافة إلى أنه بما أن (mr^2) تساوى عزم القصور الذاتى (I) فإن المعادلة يمكن أن تأخذ نفس الشكل فى الجزء وهو ($L=I\alpha$). أنظر الجدول السابق.

والعامل المسئول عن الدوران والمساوى للقوة فى الحركة الخطية هو العزم، والعامل المساوى للكتلة فى الحركة الخطية هو عزم القصور الذاتى، والعامل المساوى للعجلة فى الحركة الدورانية هو العجلة الدورانية.

وبتعديل طفيف فى المعادلة، فإنه يمكن اكتشاف كيف يتناسب معدل التغير فى سرعة الدوران تناسباً طردياً مع مقدار العزم. مقدار عزم القصور الذاتى حيث أن ($\alpha = \frac{L}{I}$)

كمية الحركة الدورانية:

إن كمية الحركة هى مقياس القوة التى يمكن أن تبدأ الحركة أو توقفها، فالأجسام التى تتحرك حركة دورانية، تقع تحت تأثير كمية حركة مشابهة لما

يحدث فى حالة الحركة الانتقالية. وكمية الحركة الخطية هى ناتج كل من الكتلة والسرعة، فى حين أن كمية الحركة الدورانية هى ناتج المكونات الدورانية المشابهة (الكتلة والسرعة) والتى تتمثل فى عزم القصور الذاتى كبديل للكتلة والسرعة والزاوية أو الدورانية كبديل للسرعة حيث:

كمية الحركة الخطية = mv

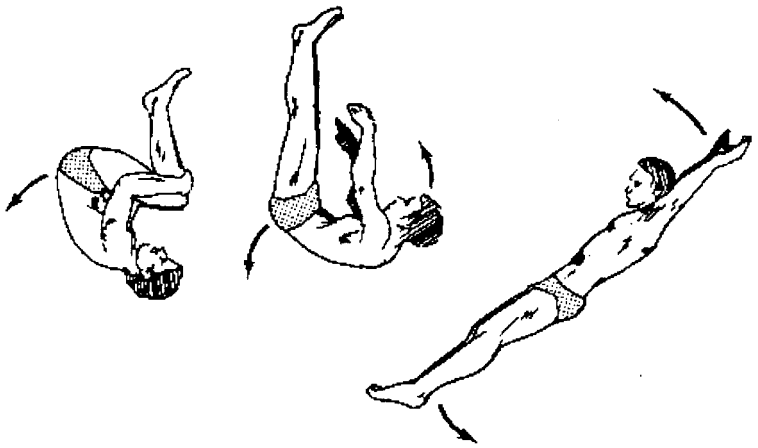
كمية الحركة الدورانية = Iw

ويمكن زيادة كمية الحركة الدورانية بزيادة أى من عزم القصور الذاتى أو السرعة الزاوية أو الاثنين معاً فالمضرب الأثقل والذى يتحرك بنفس سرعة مضرب أخف، يتحرك بكمية حركة دورانية أكبر وعلى ذلك فإن زيادة سرعة دوران المضرب الأخف وزناً قد تجعل من كمية حركته مساوية للمضرب الأثقل والأقل سرعة.

وبنفس الأسلوب فإنه يمكن زيادة كمية الحركة الدورانية فى مهارة الركل عن طريق زيادة سرعتها الدورانية وعلى العكس فإن كمية الحركة للرجل من الممكن أن تتناقص عند قبض الرجل من مفصل الركبة حيث يقلل ذلك من عزم القصور الذاتى للرجل رغم ثبات سرعتها.

بقاء كمية الحركة الدورانية:

يمكن تطبيق قانون نيوتن الأول على الحركة الدورانية، مع تحويله لمفهوم كمية الحركة، حيث أن كمية الحركة الدورانية لأى جسم فى حالة دوران، تبقى ثابتة ما لم يؤثر عليها عزم خارجى ولذا يطلق على هذه الصيغة القانون نيوتن الأول فى حالة الدوران، ببقاء كمية الحركة الدورانية. وكما هو الحال فى الحركة الخطية فإنه يمكن بقاء كمية الحركة الدورانية، وذلك بالقطع مع عدم ظهور أى تأثير لأى قوى أو عزوم خارجية، فلاعب الغطس والترامبولين وراقص الباليه ولاعب الجمباز، وأى لاعب يتميز أداءه المهارى بالدوران، يعتمدون على هذا المبدأ فى التحكم فى سرعة دورانهم. فراقص الباليه يبدأ مهارات اللف حول المحور الطولى بوضع الذراعين جانباً ولكى يبدأ اللف وزيادة سرعته فهو يعمل



شكل (٧٤) زيادة طول نصف قطر الدوران يزيد من عزم القصور الذاتى ويقلل من سرعة الدوران

على تقريب الذراعين من المحور الأصلى للجسم قدر الإمكان وتؤدى عملية تقريب الذراعين من المحور الداخلى للجسم إلى تقليل مقدار عزم القصور الذاتى فتزيد سرعة الدوران أو اللف، حيث أن كمية الحركة الدورانية ثابتة وتناقص مقدار (I) سوف يؤدى إلى زيادة مقدار (w) ومع رفع الذراعين جانبا وفى بعض الأحيان تحريك الرجلين بعيداً عن محور الحركة تبدأ سرعة الدوران فى التناقص مرة أخرى.

ولاعب الغطس فى أداءه للدورات الهوائية المتكورة من الممكن أن يتحكم فى سرعة الدوران، بتغيير درجة التكور، وبالتالى بتغيير مقدار عزم القصور الذاتى، وهذا هو ما يحدث بعد إتمام أداء المهارة والاستعداد لدخول الماء حيث يبدأ اللاعب فى مد جسمه تدريجياً من التكور إلى المنحنى إلى المستقيم. شكل (٧٤).

الفعل ورد الفعل:

كما سبق وأوضحنا بأن القوة يعادلها العزم فى الحركة الدورانية، فإن أى عزم نتيجة أى جسم على جسم آخر يقابله عزم مساوى فى المقدار ومضاد فى الإتجاه من هذا الجسم، وهذا هو تطبيق قانون نيوتن الثالث على الحركة الدورانية فالقوة التى تسبب تغييراً فى كمية الحركة الدورانية، تقابلها قوة أخرى مساوية فى المقدار ومضاده فى الاتجاه.

وتسبب تغييراً مساوياً ومضاداً فى كمية الحركة، أى بمعنى أن هناك بقاء لكمية الحركة الدورانية، فعندما يقفز لاعب الترامبولين لأعلى مع رفع الذراعين عالياً، ثم يبدأ بمرحلة الرجلين أماماً عالياً فسوف يدور الجسم حوله الحوض، فالعزم الذى يحدث على الرجلين، يقابله عزماً مساوياً فى المقدار ومضاد فى الإتجاه فى باقى أجزاء الجسم، وسوف يلاحظ تغير السرعة الزاوية لمعظم أجزاء الجسم، وتكون أقلها فى الجذع لأن عزم قصوره الذاتى كبير.

ومع القفز عالياً، ثم عمل قبض حاد فى مفصلى رسغ اليد، فسوف يضاد هذا الفعل عزماً جديداً فى باقى أجزاء الجسم إلا أن هذه الحالة سوف يصعب معها ملاحظة التغير فى السرعة الزاوية للذراعين والجذع، حيث أن عزم القصور الذاتى للذراعين والجذع تغيير كبير حداً بالمقاومة باليدين وبالتالى فإن العزم المضاد سوف يكون قليل جداً، والسرعة الزاوية لكلاً الجزئين المتحركين فى المثالين السابقين، تتناسب عكسياً مع عزم قصورهما الذاتى حول محور الدوران، وهما الحوض فى المثال الأول ومفصل رسغ اليد فى المثال الثانى، ومحاور الدوران فى مثل هذه الحركات من الممكن أن تتواجد على أى مستوى فراغى، ولكن رد الفعل لابد أن يحدث على نفس المستوى الفراغى أو المستوى الموازى، فحركة الذراعين أفقياً من أمام الجذع. سوف تؤدى إلى رد فعل مضاد فى باقى أجزاء الجسم على المستوى الفراغى العرضى، كما هو الحال فى شكل (٧٥). حركة أحد الذراعين لأسفل على المستوى الفراغى الأمامى، سوف تؤدى إلى رد فعل فى باقى أجزاء الجسم على نفس المستوى الفراغى، وهذه الحركة عادة ما تستخدم فى استعادة التوازن على أجهزة التوازن كعارضة التوازن فى جمباز الآنسات. فإذا ما سقط الذراع الأيسر جانباً فسوف يؤدى ذلك إلى رد فعل فى باقى أجزاء الجسم جهة اليمين لمنع السقوط.

والمعادلة التى تفسر علاقة الفعل برد الفعل فى الحركة الدورانية يمكن أن تتخذ هذه الصيغة:

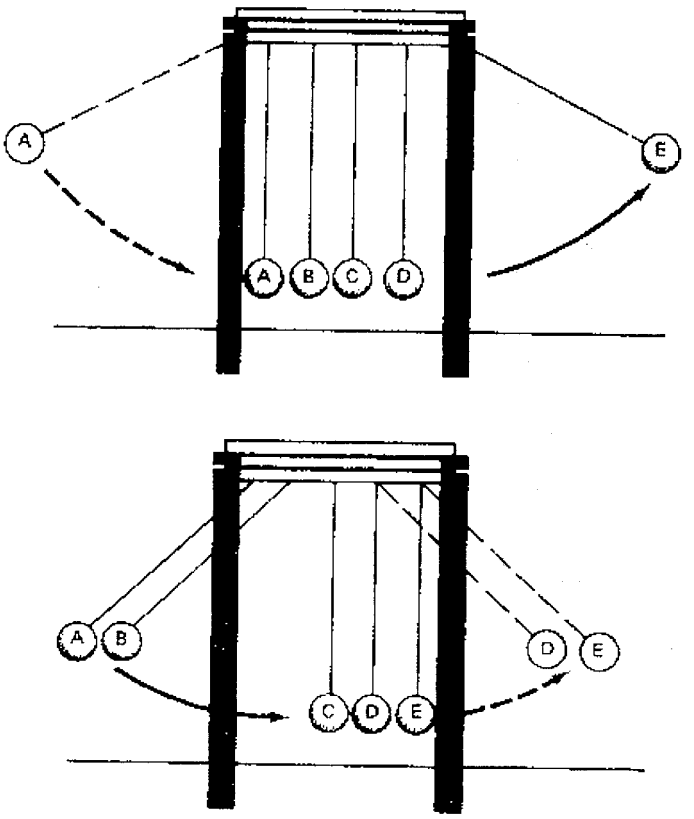
$$I_1 (wv_1 - wu_1) = I_2 (wv_2 - wu_2)$$

شكل (٧٥)
الفعل ورد الفعل فى
حركة أجزاء الجسم

وأى تغيير فى عزم القصور الذاتى لأى من الجمسين (I_1 ، I_2) أو سرعاتهم الدورانية، (w_1 , w_2) سوف يؤدى إلى كمية حركية دورانية مضادة، بحيث يتساوى جانبى المعادلة بصفة دائمة.

وبعض الأحيان قد لا يكون من المرغوب فيه، حدوث الفعل ورد الفعل فى بعض أجزاء الجسم، حيث يجب التحكم فيه ويتم ذلك عن طريق امتصاص الأفعال غير المرغوبة حتى لا يكون لها ردود أفعال. ففى العدو، يؤدى دوران الحوض والرجل حول المحور الرأسى، إلى رد فعل غير مرغوب فيه تمثيل فى، حركة الجذع فى الإتجاه العكسى إن لم يتم التحكم فيها بأى طريقة، ولكى نمنع حدوث ذلك، تتحرك الذراعين حركة عسكية لحركة الرجلين، لامتصاص رد الفعل بإنتاج لف مضاد يلغى رد فعل الناتج فى الجسم نتيجة لحركة الرجل.

وكلما زادت سرعة العدو، كلما كان تأثير حركة الرجل أقوى كلما تطلب ذلك حركة أقوى فى الذراعين ويمكن استخدام حركة الذراعين بنفس الأسلوب، للتغلب على حركة الجذع غير المرغوب فيها، كرد فعل لحركة الرجلين فى الحواجز والموثب ومهارات الغطس.



شكل (٧٦) مثال لبقاء كمية الحركة الدورانية المنقولة من جسم لآخر

انتقال كمية الحركة:

بناءاً على قانون بقاء كمية الحركة، فإنه يمكن انتقال كمية الحركة الدورانية، من أحد أجزاء الجسم إلى جزء آخر وبحيث لا تتأثر كمية الحركة الكلية للجسم.

فالكرات المعلقة فى شكل (٧٦) تؤدى الصدمة المفاجئة لحركة الكرة (A) سوف تؤدى إلى حركة الكرة (E). وبنفس الأسلوب فإن تصادم الكرتين (A , B) بالمجموعة سوف يؤدى إلى حركة الكرتين (D , E).

ومن أمثلة انتقال كمية الحركة فى حركات الجسم البشرى، منها حركة لاعب الغطس عند ترك سلم القفز، حيث تتحرك الذراعين بالمرجحة لأعلى، حتى تتوقف حركتهم عند نهاية المدى الحركى لمفصل الكتف، بعدها تنتقل كمية

الحركة، إلى الجسم وتزيد من دورانه، مما يساعد على دوران الجسم فى الهواء. وكذلك فى حركات اللف حول المحور الطولى من القفز، حيث ينقل اللاعب كمية الحركة الدورانية الناتجة فى الذراعين والجذع إلى باقى أجزاء الجسم بمجرد بدأ الطيران فى الهواء.

وسوف نتناول تأثير انتقال كمية الحركة الدورانية فى حالات الطيران فى الهواء فى جزء لاحق.

ومن الممكن أن تتحول كمية الحركة الدورانية إلى خطية والعكس خلال انتقالها. فكمية الحركة الدورانية للمطرقة، تبدأ فى التحول إلى كمية حركة خطية لحظة تحررها من يد اللاعب وعلى العكس من ذلك، فالكرة التى تصطدم بالأرض، دون وجود أى لولبة قد ترتد من الأرض وهى فى حالة لولبة، حيث يتحول جزء من كمية حركتها الخطية إلى كمية حركة دورانية تولد هذه اللولبة.

وكذلك فإن لاعب الوثب الطويل يحول جزء من كمية حركته الخطية إلى حركة دورانية خلال الارتقاء وهذا ما أدى إلى ظهور الوثب الطويل بالدوران فى الهواء كأسلوب الأداء الوثب انطلاقاً من أنه طالما أن هناك مقداراً من كمية الحركة الدورانية تظهر لحظة الارتقاء فلماذا لا يستفاد منه؟ إلا أنه لعدة أسباب ألغيت هذه الطريقة فى الوثب.

وتبدو طرق الوثب الطويل الأخرى، أكثر تعقلاً فى التعامل مع هذا المقدار من كمية الحركة الدورانية الناتجة عن الارتقاء حيث يستخدم اللاعب بعض حركات أجزاء جسمه لإمتصاص هذا الدوران غير المرغوب فيه أثناء الطيران خاصة وأن تأثير الجسم بهذا الدوران يؤثر بشكل كبير على وضع القدمين فى الهبوط وما يتبعه من حركات باقى أجزاء الجسم.

القوة الطاردة والجاذبة المركزية:

عندما يدور جسم مربوط بحبل حول محور فإن هذا الجسم يتحرك حركة انتقالية ذات شكل دائرى فى حين يتحرك الحبل نفسه حركة دورانية حول المحور، وإذا ما تحرر هذا الجسم فى أى لحظة فسوف يتحرك حركة خطية.

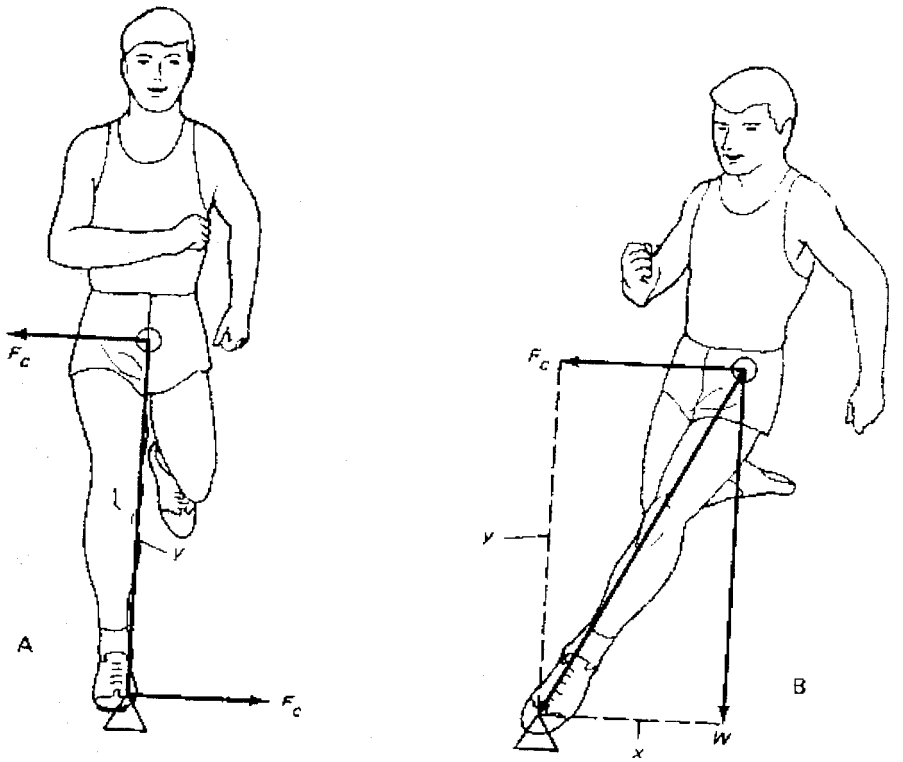
وينطبق على هذه الحالة قانون نيوتن الأول، ولكى يتم تغيير هذا المسار فإن الأمر يحتاج وجود قوة جيدة تغير من الحالة، ولكى تبقى حركة الثقل أو الجسم فى مسارها الدائرى، يقع الجسم تحت تأثير قوة تسمى بالقوة الجاذبة نحو المركز (Centripetal) وهى قوة تعمل على جذب الجسم نحو المركز بصفة دائمة خلال دورانه وبالتالى فإن إتجاهها يكون نحو المركز.

والقوة المركزية تعتبر قوة خارجية يتم التأثير بها على الجسم عن طريق المركز، الذى يتأثر أيضاً بقوة مضادة مساوية فى المقدار ويكون إتجاهها للخارج وتسمى بالقوة الطاردة عن المركز (Centrifugal) ويمكن الإحساس بها عن طريق الشد الذى يحدث فى الحبل. وعند زوال تأثير هذا الفعل ورد الفعل المساوى فى المقدار والمضاد فى الإتجاه فإن الجسم بمجرد انطلاقه يتحرك فى خط مماس للمسار الدائرى، وبدون وجود قوى للجذب نحو المركز فلن تظهر قوى الطرد خارج المركز، وعلى الرغم من أن سرعة الجسم فى دورانه بهذه الكيفية من الممكن أن تكون منتظمة إلا أن إتجاهه يتغيير بدوام الدوران، بمعنى أن هناك تغيير ثابت فى السرعة، مما يؤدى إلى اعتبار هذه الحالة كحالة التزايد المنتظم فى العجلة حيث ينظر للعجلة بأعتبارها معدل التغير فى السرعة.

ويزيد مقدار العجلة التى يتحرك بها الجسم فى هذه الحالة، بزيادة السرعة، وتقل بزيادة البعد بين الجسم ومحور العجلة فى القانون الثانى لنيوتن (F= m.a) فتظهر لنا معادلة القوة الجاذبة المركزية.

$$F_1 = \frac{mv^2}{r}$$

ومعادلة القوة الطاردة المركزية هى نفس معادلة القوة الجاذبة المركزية حيث أن القوتين متساويتين فى المقدار ومتضادتين فى الإتجاه. ومن خلال المعادلة يمكن ملاحظة أن مقدار القوة الجاذبة المركزية تعتبر على درجة كبيرة من الأهمية لكى يحتفظ الجسم بحركته فى مسار دائرى وتتناسب طردياً مع كتلته ومربع سرعته، وعكسياً مع طول نصف القطر. فمضاعفة الكتلة تعنى مضاعفة القوة الجاذبة المركزية، فى حين أن مضاعفة طول نصف القطر تؤدى إلى تناقصها إلى



شكل (٧٧) دور الميل أثناء الجرى فى المنحنيات لتحقيق التوازن

النصف، أما تغيير السرعة فله تأثيرات على درجة كبيرة من الأهمية، بزيادة السرعة التى يدور بها الجسم حول المحور إلى الضعف تؤدى إلى زيادة الجاذبية المركزية إلى أربعة أضعاف، ونقص السرعة إلى النصف يؤدى إلى نقص القوة الجاذبة إلى الربع.

فعندما يجرى العداء أو لاعب الدراجات فى منحنى المضمار، فإنه يميل للداخل، حيث أن فى هذا الميل تعمل الأرض بقوة جاذبة مركزية من خلال القدم أو إطار الدراجة، فى حين تعمل القوة الطاردة المركزية على شد الجسم أفقياً عند نفس النقطة للخارج، ويؤدى ذلك إلى ميل الجسم للخارج حيث يقع تحت تأثير عزم، لعدم مرور القوة بمركز ثقله، ويوضع شكل (٧٧) إن هذا العزم الذى يعمل على تدوير الجسم للخارج (F_cy) وهو ناتج هاتين القوتين وأن المسافة بين مركز ثقل الجسم ومحور الدوران عند القدم، فعندما

يميل اللاعب للداخل، فإن ذلك سوف يؤدى إلى رد فعل مضاد يتمثل فى عزم مضاد حول القدم أيضاً، ويساوى فى المقدار قيمة الوزن مضروباً فى المسافة العمودية بين مكان مركز ثقل الجسم ومحور الدوران (القدم). ففى الشكل (٧٧ ب) يؤدى العزم الناتج عن الميل (wx) إلى:

معادلة العزم العكسى الناتج عن الطرد المركزى حيث أن ($F_c y = W_x$) وهذه العلاقة توضح أن مع زيادة قيمة (F_c) فإن مقدار الميل يجب أن يزيد، ومع حدوث ذلك تزيد المسافة (x) وتقل المسافة (y) وبالتالى يبقى العزم كما هو. كما يوضح الشكل أيضاً أن تخفيض ارتفاع مركز ثقل الجسم يتغلب على عقبة الجرى فى المنحنى حيث تكون القوة المدورة للخارج كبيرة وأن هذا التخفيض لارتفاع مركز ثقل الجسم، يؤدى إلى تقليل ذراع عزم هذه القوة (y).

وعندما تكون السرعة عالية أو أن نصف قطر المنحنى صغير فإن ذلك يتطلب أن يكون هذا الجزء من المضمار مائل للداخل، حيث أن مقدار هذا الميل، يحدده عدة عوامل من أهمها ما هو متوقع من سرعات وبحيث يكون اللاعب فى وضع عمودى على سطح المضمار أثناء الجرى فى المنحنى، وعلى ذلك فإنه يمكن القول إن بقدر ما يتحقق من إمكانية عمل الميل للداخل فى أرض المضمار، بقدر ما يمكن اللاعب من زيادة سرعته فى الجرى فى المنحنيات.

وكل من القوة الجاذبة المركزية والطاردة المركزية، لها أهميتها فى العديد من الأداءات الرياضية، ومنها على سبيل المثال التأثير بقوة الجسم نفسه على أجسام خارجية، كالرمى من أعلى الكتف أو من الجانب أو من أسفل أو أى مهارات تنتج عنها القوة لرمى الأدوات المختلفة عن طريق وضعها فى مسار دورانى خلال جزء أو أجزاء من مراحل الرمى وبمجرد أن يتم انطلاق الأداة، فإنها تتحرك فى حركة انتقالية.

ففى الإطاحة بالمطرقة، شكل (٧٨) ينقل اللاعب القوة إلى رأس المطرقة عن طريق سلسلة المطرق أو السلك المستخدم لربط المطرقة فى المقبض، فعن طريق زيادة سرعة الدوران تبدأ المطرقة فى التحرك بسرعات عالية جداً، وهنا

شكل (٧٨)
ميل لاعب المطرقة أثناء اللف، لتقليل تأثير القوة الطاردة المركزية الناتجة عن اللف

يتطلب الأمر بذل قوى جذب نحو المركز تتناسب مع مربع سرعة المطرقة، لمواجهة الزيادة فى قوى الطرد المركزى نتيجة لزيادة السرعة، وغالبا ما يلجأ اللاعب إلى الميل للخلف حتى يتغلب على هذه القوة، فلاعب المطرقة يحتاج إلى قوة كافية لمواجهة هذا الطرد المركزى الكبير، كما هو الحال فى رمى القرص وإن اختلف المقدار، حيث أنه يقوم بتوليد قوى طرد مركزى من خلال اللف حول المحور الطولى موضع القرص أبعد ما يكون عن محور اللف قبل انطلاق القرص.

كما تعتبر جميع أنواع المرجحات فى الجمباز مهما اختلفت المهارات المؤداة من المجالات التى تمثل فيها القوى الجاذبة والطاردة أهمية كبيرة فقد تصل القوى الطاردة المركزية إلى أكثر من ١٢ ضعف وزن الجسم فى بعض حالات أداء بعض المهارات.