

مذكرة
في
مبادئ الميكانيكا الحيوية
وعلم الحركة التطبيقي



د. ناصر الدين كمال الدين

د. ناصر الدين كمال الدين - د. ناصر الدين كمال الدين

مركز الكتاب للنشر

مذكرة في مبادئ الميكانيكا الحيوية وعلم الحركة

التطبيقي

تأليف : طلحة حسين حسام الدين و مصطفى كامل

حمد و سعيد عبدالرشيد

مركز الكتاب للنشر / القاهرة

الطبعة الاولى : 1997

مفهوم الميكانيكا الحيوية

مرت عملية دراسة حركة الجسم البشري براحل تطوير متعددة ارتبطت بظهور العديد من الأجهزة والأدوات التي استعانت بها العلوم الأخرى في شتى مجالات الدراسة العلمية، فبالقدر الذي تحقق فيه تطور لهذه الأجهزة والأدوات، تطورت دراسة الحركة سواء كان في الحياة العامة أو في الأداء المتميز كالأداء الرياضي.

ويعتبر علم الميكانيكا الحيوية واحداً من العلوم التي استفادت بشكل كبير من التطور التكنولوجي سواء في أساليب القياس أو معالجة ما يمكن استخراجه من بيانات.

وميكانيكا الحيوية، تعنى دراسة السلوك الحركي في ضوء القوانين والمبادئ الفيزيائية العامة، وهى بهذا المفهوم تعتمد على طرق البحث فى الفiziاء التقليدية وما توصلت إليه من طرق ووسائل فى محاولة لتطبيق ما يمكن تطبيقه على الجسم البشري.

أى أنه يمكن تعريف الميكانيكا الحيوية بأنها ذلك العلم الذى يهتم بدراسة حركة الجسم البشري وسكنونه من خلال المعلومات والمعارف المرتبطة بالنوافذ التركيبية والوظيفية لهذا الجسم، وفي ضوء القوانين التقليدية للميكانيكا وتطبيقاتها.

وقد شاع استخدام هذا المصطلح منذ أوائل السبعينيات وظهرت العديد من الاجتهدات في تحديد ماهية ذلك العلم وإظهار أهميته في مجالات الحياة المختلفة.

ويكمن تلخيص أهمية دراسة الميكانيكا الحيوية في المجال الرياضى على النحو التالى :

- ١ - التعرف على تفاصيل الأداء المهارى ووضع الأسس التعليمية والتدرية له .
- ٢ - التعرف على الخصائص الفنية المميزة لأداء الحركات الأساسية ودراسة تطورها باستمرار النمو لدى الأطفال .
- ٣ - التعرف على منابع الأخطاء فى الأداء الحركى والعمل على تلافيها وعلاجها .
- ٤ - اختيار طرق التدريب المناسبة لنوعية النشاط الممارس .
- ٥ - تطوير الأداء وابتکار الطرق المناسبة لتحقيق أفضل التأثير .

وبناءً على ذلك فإن دراسة الميكانيكا الحيوية، تعنى ضرورة الإمام بفهم الميكانيكا التقليدية وتقسيماتها وطرق البحث فيها باعتبارها العلم الأصيل الذى يستعان به فى دراسة الحركة .

لذا فإنه قد تم تقسيم مجالات الدراسة فى الميكانيكا الحيوية بناءً على التقسيمات المعول بها فى الميكانيكا التقليدية إلى قسمين رئيسيين هما:
الاستاتيكا : وهى دراسة حالات الأنظمة الثابتة سواء كانت هذه الأنظمة فى حالة سكون تام أو حركة منتظمة السرعة .
الديناميكا : وهى دراسة حالات الأنظمة المتحركة سواء كانت هذه الحركة تزايدية أو تناقصية .

وحتى تتم الدراسة التفصيلية في كل من هذين القسمين الرئيسيين فإنه يمكن تناولها كينماتيكيا أو كنياتيكيا أو الاثنين معاً.

فالكينماتيكا في حد ذاتها وصفاً شكلياً للأداء الحركي من حيث التغير الزمني والمكاني لهذا الأداء، أما الكيناتيكا فهي تلك الدراسة التي تهتم بالأسباب والظروف البيئية التي يحدث فيها الأداء من حيث القوى المسببة والمؤثرة والناتجة عنه بكافة صورها التطبيقية.

ونعني بذلك أن دراسة الحركة في ضوء القوانين الميكانيكية تتم من خلال ثلاثة متغيرات أساسية يمكن أن تستخدم في استنباط كافة القوانين التي تفسر هذه الحركة وهذه المتغيرات هي :

(الزمن - الازاحة - الكتلة)

فككل من الزمن والازاحة متغيرات كينماتيكية يستخرج منها السرعة والعجلة سواء كانت الحركة خطية أو دورانية، أما الكتلة فهي الخاصية المتصورةية التي تدخل في كافة الحسابات الكينماتيكية.

ولكل من المعلومات الكينماتيكية والكيناتيكية أهميتها في توصيف الحركة، فعلى الرغم من أن البيانات الوصفية (الكينماتيكية) قد لا تفي بالغرض في الدراسة التفصيلية للأداء الرياضي المتميز، إلا أن أهميتها تظهر في توصيف الأداء وشرح النقاط الفنية الرئيسية عند استخدامها في التعليم والتدريب. كما أن لهذه البيانات أهمية كبيرة في تحديد ترتيب الخطوات التعليمية وتجزئء الحركة إلى أجزائها الرئيسية. هذا بالإضافة إلى دورها في وضع القاعدة الأساسية التي تبني عليها المعلومات الكيناتيكية.

أنواع الحركات من حيث مسارها الهندسى

يمكن تقسيم الحركة من حيث المسار الهندسى لها إلى ثلاثة أنواع :

(١) الحركة الخطية (الاستقالية) :

حيث يتحرك الجسم أو النظام في خطوط متوازية، أثناء انتقاله في خط مستقيم، كحركة الجسم ككل أثناء المشي أو الجري أو قد يكون هذا الخط المستقيم منحنياً، كما هو الحال في مسارات الطيران بشكل عام (الوثب الطويل - الوثب العالى - حركة الجلة أو الرمح أو القرص في الهواء.. الخ).

(٢) الحركة الدورانية :

وفيها ترسم نقطة من الجسم أو النظام دائرة أو شبه دائرة أو قوس من دائرة حول محور قد يكون داخل الجسم أو خارجه وقد يكون هذا المحور ثابت أو متحرك، كالدوران حول عارضة العقلة أو الدوران في رمي القرص أو الإطاحة بالمطرقة أو الدوران في الهواء عند أداء مهارات الجمباز.

ويجدر الإشارة هنا إلى أن جميع حركات مفاصل الجسم البشري هي في الأصل حركات دورية تتم حول محاور هذه المفاصل، فالقبض أو البسط أو التدوير للداخل أو الخارج... الخ كلها حركات دورية رغم أن ناتجها النهائي قد يبدو في حركة خطية. فعلى الرغم من أن العدو في شكله النهائي

حركة خطية للجسم ككل من نقطة البداية حتى النهاية إلا أن حركات الأطراف المشتركة في العدو هي في الأصل حركات دورانية حول محاور مفاصل (القدم والركبة والفخذ) بالإضافة إلى حركات الذراعين.

(٣) الحركة العامة :

وهي تعتبر خليط من كلا النوعين السابقين أي أنها مكونة من كل من الدوران والانتقال أو الانتقال والدوران وهي الصفة الغالبة لحركات الجسم البشري، بينما تدور الأطراف حول محاور المفاصل أثناء المشي أو الجري تنتقل هذه المحاور من خطوة إلى أخرى حركة انتقالية.

ومن الأمثلة الواضحة لذلك حركة لاعب الغطس عند أدائه لأى مهارة من مهارات السلم المتحرك أو الثابت، فالجانب الدوراني من الحركة يتمثل في ما يؤديه من دورانات أو لفات حول محاور الجسم في حين أن الجانب الانتقالي منها يتمثل في هبوط اللاعب من ارتفاع السلم حتى سطح الماء.

بعض المعادلات المستخدمة في تفسير حركة الجسم البشري

اولاً : الحركة الاتقائية

معنى السرعة :

عندما يجري العداء فإن معدل قطعه لمسافة السباق، يعتبر مقياساً لسرعته فإذا ما قطع العداء مسافة ١٢ متراً في من قدره ١٠ ثانية على سبيل المثال فإنه يمكن القول أن العداء يجري بسرعة متوسطة مقدارها (٨.٨. متر في الثانية) ويمكن حساب هذه السرعة بالمعادلة:

$$v = \frac{s}{t} \text{ m/s} - \frac{\text{السرعة المتوسطة}}{\text{السرعة المتوسطة}}$$

حيث (s) هي المسافة المقطوعة، (t) هي الزمن المستغرق.

والحساب السرعة شكل آخر يسمى بحساب السرعة اللحظية، وهي تعنى سرعة العداء عند زمن معين أو في لحظة معينة من لحظات السباق.

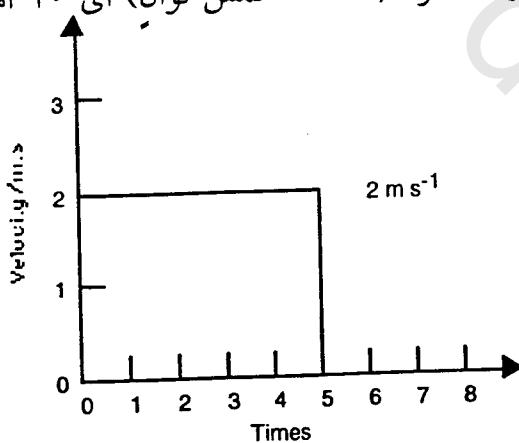
الحالة الأولى: تساوى السرعات اللحظية

إذا فرضنا أن سرعة العداء كانت (٨ امتار/ث) عندما كان الزمن

(ثانيةين) من البداية فإن ذلك يعني أنه في حالة عدم تغير السرعة التي يعدو بها فيمكنه قطع (٨ أمتار) في الثانية الثالثة، أما إذا تغيرت سرعته لتكون (١٠ أمتار/ث) مثلاً، فإن هذا التغير يعني عدم تساوى معدلات قطع المسافات في وحدات زمنية متساوية.

وبالتالى فإن ذلك يعني أنه ليس بالضرورة أن تساوى السرعة عند أي لحظة السرعة المتوسطة للعداء في السباق.

والحالة الوحيدة التي يحدث فيها ذلك هو أن تكون سرعة العداء في أي لحظة من لحظات السباق متساوية لسرعته المتوسطة في السباق ككل ويوضح شكل (١) هذه الحالة حيث أن السرعة اللحظية في أي لحظة من لحظات السباق متساوية، وفي هذه الحالة تكون متساوية للسرعة المتوسطة حيث أن السرعة اللحظة عند الثانية رقم (٢)، (٣)، (٤) تساوى (متران/ث) وبالتالي فإن سرعته المتوسطة هي (متران/ث). وهنا تعبر المساحة تحت المنحنى عن المسافة المقطوعة، وهذه الحالة نادرة جداً في أي سباق حيث أن اللاعب يتحرك بسرعة متوسطة مقدارها (متران/ث ملدة خمس ثوانٍ) أي ١٠ أمتار.



شكل (١)
تساوى السرعة اللحظية
مع السرعة المتوسطة

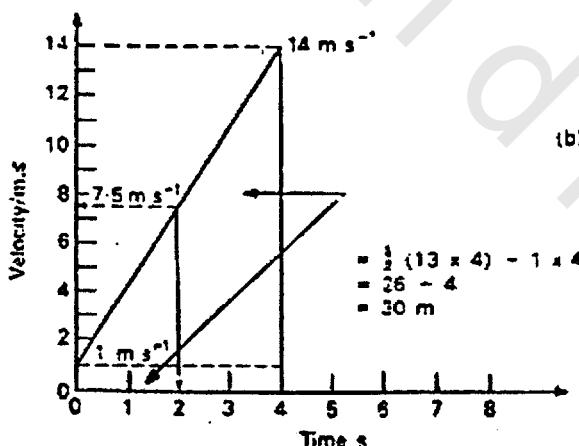
الحالة الثانية : انتظام تزايد السرعة اللحظية

قد يحدث أن يكون معدل تغير السرعة اللحظية بالزيادة معدلاً منتظمًا،
يعنى أنه في كل ثانية تزيد السرعة اللحظية بمعدل ثابت أى أن السرعة
المتوسطة تكون في هذه الحالة عبارة عن متوسط السرعات اللحظية الابتدائية
(u) وأن السرعة اللحظية النهائية (v) يمكن حسابها على النحو التالي : (شكل ٢)

$$\text{السرعة المتوسطة} = \frac{\text{المساحة تحت المنحنى}}{\text{ال الزمن}} = 30 \text{ مترًا}$$

ونظرًا إلى أن هذه المساحة قد تحققت في زمن قدره (٤ ثوانٍ) فإن متوسط
السرعة يكون (٧,٥ متر/ث).

ونظرًا إلى أن السرعة المتوسطة هي عبارة عن مجموع السرعة الابتدائية
والنهائية (u, v) فإنها سوف تعادل أيضًا (٧,٥ متر/ث) وهي تعادل السرعة
اللحظية عند منتصف الزمن.

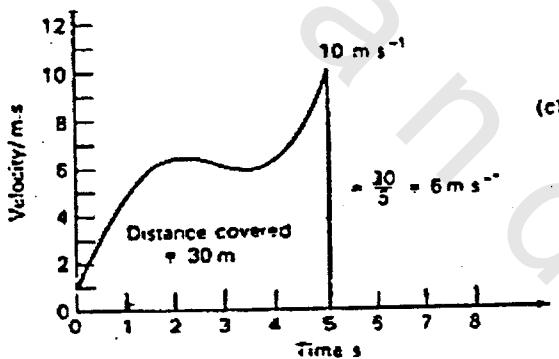


شكل (٢)

انتظام تزايد السرعة اللحظية

الحالة الثالثة : عدم انتظام تزايد السرعة اللحظية

إن عدم انتظام تزايد السرعة اللحظية يعني عدم وجود دلالة ارتباطية بين السرعة المتوسطة وكل من السرعة الابتدائية والنهائية، فمتوسط سرعة العداء في المثال السابق الإشارة إليه كانت (2 متر/ث) في حين أن سرعته الابتدائية كانت (1 متر/ث) وأن سرعته النهائية كانت (10 أمتر/ث)، وباستخدام المساحة تحت المنحنى حيث كانت 30 مترًا أيضًا فسوف نجد أن السرعة المتوسطة في هذه الحالة كانت $\frac{30}{5} = 6 \text{ أمتر/ث}$ كما هو موضح في شكل (٣).



شكل (٣)

عدم انتظام تزايد السرعة اللحظية

: العجلة

عندما يزيد العداء من سرعته أو يقللها فإنه في هذه الحالة يجري بسرعة تزايدية أو تناقصية وهذا المعدل في التزايد أو التناقص هو ما يطلق عليه العجلة، أي أن العجلة من الممكن أن تكون تزايدية أو تناقصية. وبالرجوع لشكل (١) سوف نلاحظ أن معدل تغير السرعة في هذه الحالة يكون صفر

لأن السرعة لم تغير أى أن العجلة تساوى صفرًا، أما فى شكل (٢) فإن العجلة تزايدية وبقيم ثابتة.

والعجلة اللحظية تحت أى ظرف تعادل العجلة المتوسطة ويمكن حسابها من المعادلة:

$$\text{العجلة} = \frac{\text{معدل الزيادة أو النقص في السرعة}}{\text{الزمن المستغرق}} \text{ متر/ث}^2$$

$$a = \frac{r - u}{t} \text{ m.s}^2$$

$$a = u + at \quad \text{أو باستخدام المعادلة}$$

حيث (a) هي العجلة اللحظية، (r) هي السرعة النهائية، (u) هي السرعة الابتدائية.

ويوضح شكل (٣) أن العجلة غير ثابتة القيمة وبالتالي فإن استخدام هذه المعادلة غير مناسب فى حساب العجلة فى الحالات التى تتغير فيها قيم السرعة النهائية والابتدائية، باستثناء حالة واحدة هى الحالة التى لا تتغير فيها قيم العجلة.

$$\frac{s}{t} = \frac{u + r}{2} \quad \text{معادلات العجلة المتتظمة}$$

$$r = u + at$$

من الاستنتاجات التى يمكن الحصول عليها من المعادلتين السابقتين مايلى:

$$s = \frac{(u+r)t}{2}$$

$$= rt - \frac{1}{2} at^2$$

$$2 at = r^3 - u^2$$

والمعادلة الأخيرة تستخدم في دراسة حركات سقوط الأجسام من ارتفاعات، كما هو الحال في دراسة حركة لاعب الغطس أو الترامبولين أو الجمباز، ويرجع السبب في استخدام هذه المعادلات المستنيرة إلى أن العجلة التي تسببها قوى الجاذبية الأرضية (g) هي عجلة ثابتة المقدار وتتساوى ($9,81 \text{ متر/ث}^2$) تقريباً.

فإذا تصورنا أن اللاعب في شكل (٤) يتحرك بسرعة ابتدائية رأسية لأسفل مقدارها (صفر) وأن العجلة التي يتحرك بها هي ($9,81 \text{ متر/ث}^2$) فإن المسافة التي يتحركها

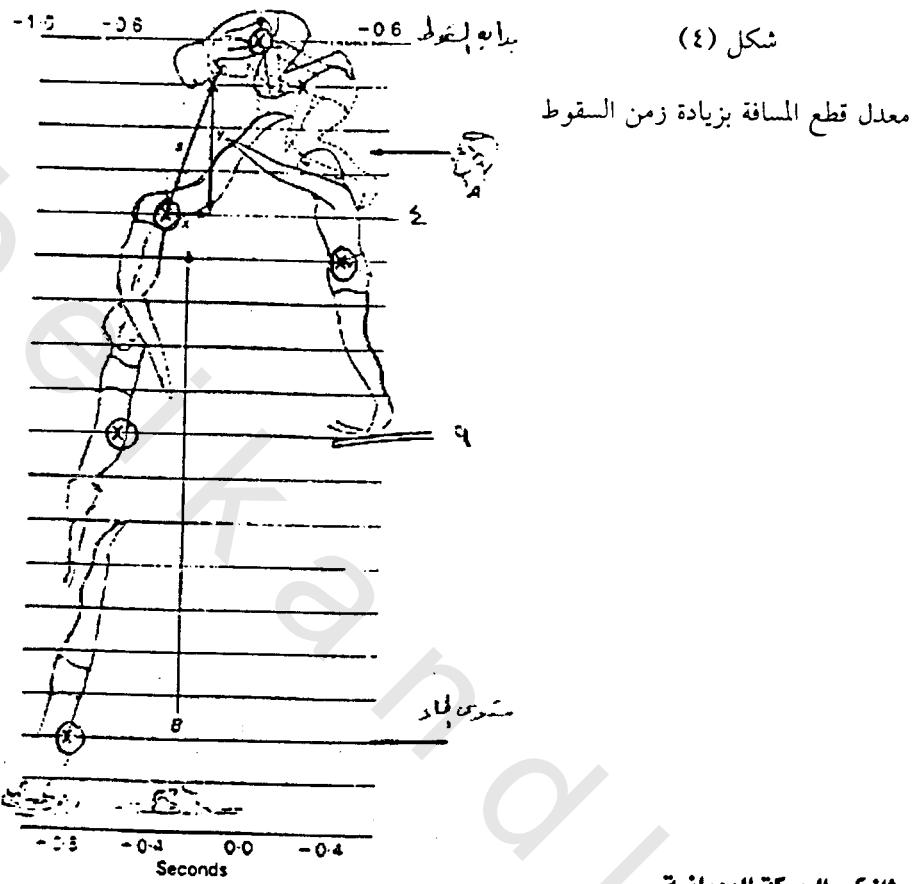
$$s = \frac{1}{2} at^2$$

حيث (U) = صفر

ومع تزايد زمن السقوط فإن معدل قطع الجسم لمسافة السقوط سوف يزيد من ($1:4:9:16$) ويمكن اختبار ذلك على الشكل.

كما يمكن ملاحظة أن ناتج المعادلة ($v = U + at$) سوف يصل إلى ($9,80$) عندما يصل الزمن (t) إلى ثانية واحدة تقريباً وأن سرعة دخول الماء هي (100 أمتر/ث) تقريباً وتشابه هذه الحالة حالة العداء في سباق 100 متر عدو، حيث يصل إلى سرعته القصوى وهي (13 مترا/ث) بعد مرور ($3-2$ ثانية من البداية).

شكل (٤)



ثانية : الحركة الدورانية

ت تكون معظم حركات الجسم البشري من حركات دورانية تبدو في مظاهرها الخارجى حركات انتقالية ويمكن معالجة الحركة الدورانية بنفس قوانين الحركة الخطية باستثناء أن شكل الإزاحة (الانتقال) مختلف، فدوران الجسم حول محور بمقدار 360° درجة أى دورة كاملة يعني أنه تحرك بمقدار $6,3$ زاوية نصف قطرية (Rad). والزاوية النصف قطرية تعادل $57,3$ درجة وهى الزاوية المحصورة بين نصفى قطرى يعادلان فى طولهما القوس المحصور بينهما.

الدوران على مستوى فراغي واحد :

في كثير من حركات الجسم البشري يتحرك الجسم دورانياً على مستوى فراغي واحد والمستوى الفراغي الواحد يعني أن الجسم تحرك في بعدين متعامدين يكونان هذا المستوى، وقد يتطلب الأمر ضرورة دراسة هذه الحركة بمزيد من التفاصيل عن طريق فهم ما يحدث بالنسبة لهذين البعدين، وغالباً ما يطلق عليهم بعد الرأسى والبعد الأفقى (x ، y).

فلو فرضنا أن لاعب الغطس في المثال السابق قد تحرك مسافة (S) خلال زمن (t) فسوف نلاحظ أنه خلال هذه المسافة قد تحرك أفقياً ورأسياً بنسب متفاوتة.

فسرعة اللاعب في الاتجاه الأفقى (v_x) يمكن حسابها بناتج قسمة الإزاحة في هذا الاتجاه على الزمن المستغرق ($\frac{x}{t}$) وكذلك السرعة في الاتجاه الرأسى (v_y) حيث $\frac{y}{t}$ وتكون السرعة الحقيقة لللاعب في هذه الحالة هي ناتج لكل من هاتين السرعتين وذلك عن طريق المعادلة .

$$v_r = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

حيث (v_r) هي السرعة المحصلة

وبالتالي فإنه يمكن استنتاج أن (x) هنا هي جيب تمام الزاوية التي يميل بها الجسم عن المستوى الأفقى وأن (y) هي جيب الزاوية أى أن

$$v_x = \cos \theta$$

$$v_y = \sin \theta$$

وبنفس الأسلوب فإنه يمكن التعامل مع كافة المتغيرات سواء كانت كinemاتيكية أو كنياتيكية لحساب الحركة في كل الاتجاهين الممثلين للمستوى الفراغي المعين والذى تؤدى عليه .

علاقة الحركة الخطية بالحركة الدورانية :

من الممكن أن توصف حركة النظام أو الجسم الدورانية من خلال عدة رموز لها معانٍ دورانية، واستخدام الرموز التي تفسر الحركة الدورانية يساعد في توصيف حركة أي نقطة على الجسم أو النظام الذي يتحرك دورانياً. حيث أن حركة النقطة تكون حركة منحنية في مسار يمثل جزء من الدائرة وبالتالي فإن لها سرعة خطية أيضاً.

وتمثل هذه العلاقة الأساس في تفسير حركات الأطراف في مهارات الرمي والركل والضرب، حيث تعتمد المسافات الخطية المنحنية التي تتحركها النقط على أي جسم أو نظام في حالة دورانه على المسافة بين النقطة ومحور الدوران والتي تمثل نصف قطر الدوران وهذا يعني أن النقطة الأبعد بالنسبة لهذا المحور هي النقطة ذات نصف القطر الدوراني الأكبر وبالتالي فهي النقطة التي تتحرك حركة خطية أكبر كلما دار الجسم. وهذه الحركة الخطية (d) يمكن حسابها بمعادلة نصف قطر الدوران (r) في الازاحة الزاوية

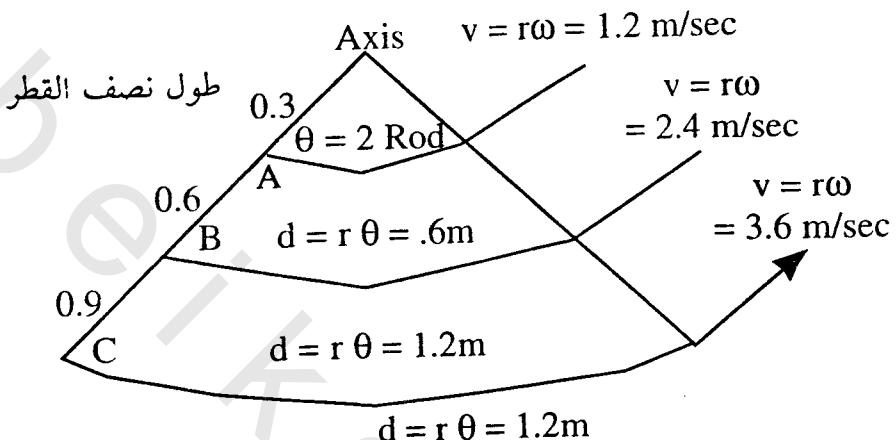
$$d = r \theta$$

حيث (θ) تمثل الازاحة الزاوية، ونظرًا إلى أن وحدات قياس كل من (d, r) هي (السم والمتر.. الخ) وأن قياس الازاحة الزاوية (θ) يتم بالوحدات الدائرية، فإنه تجدر الإشارة إلى ضرورة تحويل قيمة الازاحة الزاوية إلى التقدير النصف قطري حيث كما سبق الإشارة تعادل الدرجة النصف قطريه ٥٧,٣ درجة بالتقدير الدائري وبالتالي فإن الدورة الكاملة (360°) مساوية ٦٣ زاوية نصف قطريه تقريباً.

كما أنه يمكن حساب السرعة الخطية للنقطة من خلال قيم السرعة الزاوية (ω) حيث أن العلاقة بين السرعة الزاوية والسرعة الخطية أساسها نصف القطر ويمكن حسابها عن طريق المعادلة

$$v = r \omega$$

فكلما زاد مقدار السرعة الزاوية أو طول نصف قطر الدوران أو كلاهما كلما زادت السرعة الخطية للنقطة، ويوضح ذلك شكل (٥).



شكل (٥) السرعة الخطية لثلاثة نقط تتحرك على جسم بسرعة زاوية ثابتة

ويكون متوج السرعة الخطية في هذه الحالة في خط مماس لقوس الدائرة الذي تتحرك فيه النقطة.

والمثال السابق يمكن استخدامه كقاعدة عامة في تفسير حركات الأطراف، حيث يظهر ذلك بوضوح في استخدام مضرب التنس حيث أن بعد نقطة ضرب الكرة مع ثبات السرعة الزاوية يؤدي إلى سرعة خطية عالية للمضرب وبالتالي سرعة اصطدام عالية لحظة ضرب الكرة.

وكذلك ثبات نفس المتغيرات على لاعبي كرة قدم مع اختلاف طول الطرف المتحرك يؤدي إلى زيادة سرعة القدم عند ركل الكرة لدى اللاعب الأطول.

القوى المؤثرة في الجسم البشري

القوة :

أوضحنا في الجزء السابق وصفاً للحركة من حيث السرعة والعجلة والمعادلات التي يمكن أن تستخدم في تفسيرها. وسوف نتناول في هذا الجزء القوى المساعدة للحركة وكيفية دراستها بشيء من التبسيط.

تتجزأ القوة بصفة عامة ثلاثة أنماط من الحركة تتلخص في:

- (١) تغيير في الشكل، حيث تؤدي القوة إلى تغيير في شكل الجسم نفسه.
 - (٢) حركة خطية تؤدي إلى انتقال الجسم من مكان آخر.
 - (٣) حركة دورانية يدور خلالها الجسم حول نفسه أو حول محور ثابت.
- وعادة ما تحدث القوة تأثيراً واحداً أو أكثر من هذه التأثيرات الثلاثة الرئيسية. فركل الكرة يعتبر نموذجاً من النماذج التي تظهر فيها أنماط الحركة الثلاثة، حيث يتغير شكل الكرة لحظياً عند ركلها أى عند التأثير عليها بقوة الركل كما أنها تتحرك حركة انتقالية من مكان ركلها إلى المكان المراد توصيلها إليه هذا بالإضافة إلى دورانها حول مركزها أثناء انتقالها.
- وللحركة عدة أشكال تطبيقية، إلا أنه يمكن القول أن القوى التي تؤثر في

حركة الجسم البشري تأتى نتيجة اتصاله سواء بالأرض أو الماء أو الهواء أو بأى جسم خارجى، وبشكل عام فهى ردود لأفعال الجسم نفسه على أى من هذه الأوساط.

هذا بالإضافة إلى وجود قوة أخرى ثابتة التأثير على جميع الأجسام وهى قوى الجاذبية الأرضية التى لا تختلف باختلاف موضع الجسم على سطح الكرة الأرضية إلا اختلافات بطيئة يمكن إهمالها. فالكرة الأرضية تؤثر على أى جسم بقوة تؤدى إلى تسارعه لأسفل بمعدل (٩,٨١ متر/ث^٢) تقريباً وقد تختلف هذه القوى باختلاف أماكن وجود هذه الأجسام على الكواكب الأخرى فهى تعادل على سبيل المثال على سطح القمر ($\frac{1}{6}$) قيمتها على سطح الأرض.

فلاعب الوثب العالى يتأثر خلال طيرانه بقوة ت العمل على إعادته إلى سطح الأرض مرة أخرى وتؤدى إلى تناقص حركته لأعلى باستمرار حتى لحظة السكون والتى يبدأ بعدها فى الهبوط، ويتمركز تأثير هذه القوة فى نقطة تعرف بمركز ثقل الجسم أو مركز جاذبيته، ولا يعني وصول الجسم إلى سطح الأرض انتهاء تأثير هذه القوة، فاستمرار تأثير قوى الجاذبية على الجسم يؤدى إلى ظهور قوة جديدة بعد عودته إلى سطح الأرض تعرف بقوة الوزن وهى قوة طبيعية ترتبط باتصال الجسم بسطح الأرض، وتعادل وزن الجسم (W). وهى تعمل على توازن الجسم رأسياً.

قوى الاتصال الطبيعية كما يطلق عليها تعمل دائماً بزاوية قائمة على سطح الاتصال حيث أن اتجاه هذه القوة لا يتغير بتغيير ميل سطح الاتصال.

ما سبق يتضح أنه لدراسة القوى المؤثرة فى الجسم البشري فإنه يجب الأخذ فى الاعتبار بالخصوص الأربعة المميزة لأى قوة. وهى المقدار والاتجاه ونقطة التأثير وخط التأثير أو خط القوة.

المقدار: وهو يعني الكمية أو القيمة حيث يستخدم رمز النيوتن كوحدة تمييزها وهو يعادل .٣٠ جرام تقريباً.

الاتجاه: وهو يعني مسار القوة كأن يكون أفقي أو رأسى أو بزاوية ميل محددة.

نقطة التأثير: وهى تعنى موضع تأثير القوة بالنسبة للجسم الواقع تحت تأثيرها.

خط التأثير: وهو يعني المسار المستقيم المار بنقطة التأثير وامتداداً لخط التأثير لذا فإنه يطلق عليه خط القوة.

رد الفعل كقوة :

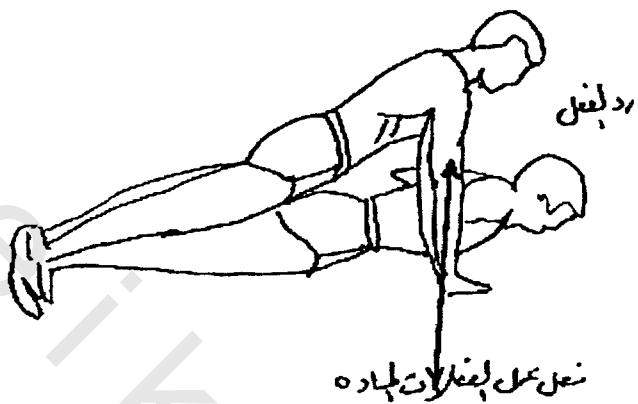
يمثل رد الفعل، المصدر الرئيسي ل معظم حركات الجسم البشري، فالمشى والجري والوثب ما هى إلا رد فعل الأرض على الأفعال التي تحدثها القوى الداخلية المتمثلة في عمل العضلات والمفاصل، والقوى الداخلية هنا لا تمثل أى شكل من أشكال الحركة في غياب البيئة الميكانيكية الخارجية التي تعادل هذه القوى بردود أفعال ينتج عنها الحركة.

فمد الذراعين من الانبطاح تعمل فيه العضلات المادة للمرفقين ومنها العضلة ذات الثلاثة رؤوس العضدية على مد المرفق والذي يعتبر فعلاً يستقبله سطح الأرض برد فعل مضاد في الاتجاه ومساو في المقدار فتظهر الحركة على هيئة ارتفاع الكتفين للوصول لوضع الانبطاح المائل. كما هو موضح في شكل (٦).

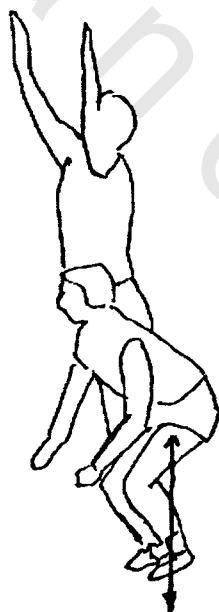
وبنفس الأسلوب تعمل العضلات المادة لفصل الركبة والقدم على دفع الأرض لأسفل والتي بدورها تؤثر برد فعل يؤدي لطيران الجسم لأعلى في الوثب العمودي كما هو موضح في شكل (٧).

فسطح الأرض في هذين المثالين السابقين يعمل كنظام يمنع استمرار حركة اليدين أو الرجلين لأسفل نتيجة لعمل العضلات المادة فتظهر في شكل حركة عكسية لأعلى حيث أنه ليس من المنطقى أن يؤدي هذا المد إلى تحريك الأرض

كلها، فإذا ما أديت عملية المد دون الاتصال بسطح الأرض فلن يتحرك الجسم في الاتجاه العكسي.



شكل (٦) اتجاه رد الفعل في مد الذراعين من الانبطاح



شكل (٧) اتجاه رد الفعل في الوثب العمودي

وتعتبر هذه العلاقة بين فعل العضلات والمفاصل ورد فعل الأرض عليها أثناء اتصال الجسم بسطح الأرض من أهم العلاقات التي تحكم حركات الإنسان بشكل عام وتحدد مداها وتفاصيلها.

قوى الاحتكاك :

وهي شكل من أشكال القوى التي تحدث على سطح الاتصال بين الأجسام المختلفة ويظهر تأثير قوى الاحتكاك عندما يتوفّر الميل إلى الانزلاق بين الأسطح المتصلة، حيث مع ظهور هذا الميل تنشأ قوة مساوية يؤثر بها الجسم الأكثر ثباتاً على الجسم المترافق ويحدد مقدار هذه القوة عدة عوامل من أهمها طبيعة الأسطح المتصلة. حيث تزيد قوى الاحتكاك بزيادة خشونة الأسطح المتصلة، وكلما زادت القوى الطبيعية للاتصال كما سبق الإشارة فإن مقاومة الأسطح للانزلاق تزيد.

والتغير في مساحة الاتصال الظاهري، لا يغير من قوى الاحتكاك بالنسبة للأسطح ذات نفس الموصفات، فمهما اختلفت مقاييس الأحذية المصنوعة من نوع واحد فإن ما يتولد بينها وبين سطح الأرض المصنوع من مادة ذات مواصفات محددة هو قوى احتكاك ثابتة القيمة.

ولكل سطح من الأسطح، معامل احتكاك ثابت له شكلين رئيسيين هما معامل الاحتكاك الاستاتيكي ومعامل الاحتكاك المتحرك (الكتنائيكي). حيث غالباً ما يكون الشكل الأول أكبر من الثاني ويرتبط الأول بالثبات والثاني بالحركة.

والاحتكاك المصاحب لدرججة الأجسام أقل كثيراً من الاحتكاك المصاحب لانزلاقها فدرججة إطار السيارة أسهل كثيراً من جره على نفس السطح.

ولعل من أهم الأمثلة الرياضية التي توضح قيمة الاحتكاك كعامل مساعد في الأداء حركات المراوغة والخداع التي يعمل فيها اللاعب على التغيير المفاجيء في الاتجاه لمراوغة الخصم بالاستعانة بقوى احتكاك عالية بين سطحي

القدمين وقد يعينه في ذلك طبيعة سطح الحذاء المستخدم وكذلك طبيعة سطح الأرض أو الملعب.

كما توضح هذه الأهمية في العدو في المنحنيات حيث تساعد المواصفات الخاصة لحذاء العدو على زيادة احتكاك القدم بارض المضمار.

القوة الطاردة والقوة الجاذبة المركزية :

عند دوران الأجسام حول محاور ثابتة أو شبه ثابتة فإن حركة الأجسام بحكم قصورها تعمل على توليد قوة غير مرغوب فيها تسمى بقوة الطرد центральной، حيث أنها قوة تتخذ اتجاه طرد الجسم خارج محيط الدائرة التي يدور فيها.

وتعادل هذه القوة مع بقاء الجسم في حالة دوران، قوة مساوية ومضادة تعرف بقوة الجذب المركزى.

وكما سبق وأشارنا إلى أهمية نصف قطر الدوران في حسابات الحركة الدورانية فإن لطول نصف القطر أهمية كبيرة في تحديد مقدار كل من هاتين القوتين.

ومن أكثر الأمثلة التطبيقية في الحياة اليومية تطبيقاً لهذا المبدأ تلك الميل التي تلاحظ في المنحنيات في الطرق السريعة حيث أن تغيير مسار السيارة المسرعة في الاتجاه المنحنى يؤدي إلى ظهور قوة طاردة للخارج تلعب كل من كتلة السيارة وسرعتها ودرجة الانحناء في تحديد مقدارها، لذا فإن هذه الميل تعمل على تخفيف حدة تأثير قوى الطرد المركزى.

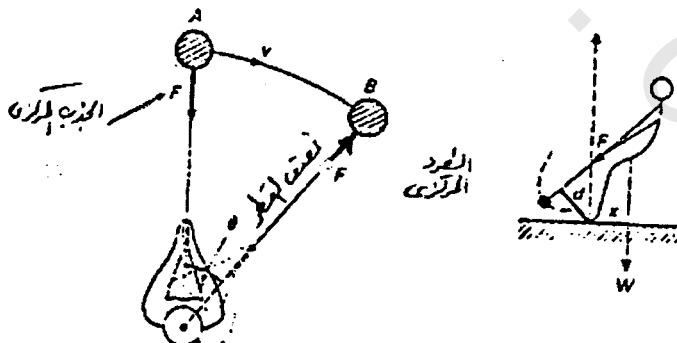
وفي المجال الرياضي يلاحظ ميل العداء للداخل عند العدو في المنحنيات وتحدد درجة الميل هنا سرعة اللاعب فكلما زادت سرعة اللاعب زاد ميله للداخل لمواجهة ما يتعرض له من طرد للخارج.

كما أن حركات الدورانات الكبرى على جهاز العقلة أو اللفات التي يؤديها لاعب المطرقة أو القرص، تعتبر من النماذج التي توضح كيفية الاستفادة من هذه الظاهرة الطبيعية في أداء حركات أكثر صعوبة أو في تحقيق أرقام أفضل.

فزيادة سرعة الدوران في الدورانات الكبرى التي تسبق النهايات الحركية يتولد عنها قوة طاردة مركبة كبيرة فإذا ما أحسن اللاعب استغلالها يمكن تحقيق ارتفاع طيران أعلى مما يتحقق وبالتالي فرصة أداء مهارات ذات صعوبة أعلى.

كما أن زيادة سرعة اللف حول المحور الطولى في رمى القرص أو الإطاحة بالمطرقة سوف يؤدي إلى تعرض الأداة إلى قوة طرد مركبى كبيرة من الممكن أن تستغل في تحقيق أرقام أفضل.

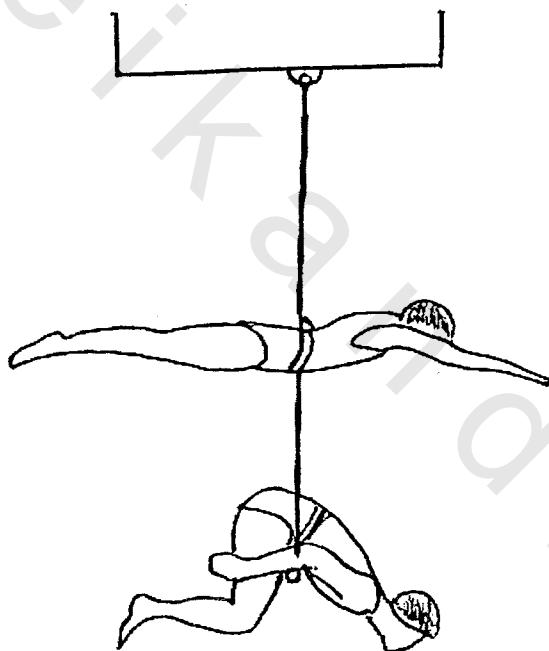
ما سبق يتضح أن القوة الطاردة المركبة هي قوة تتولد مع الدوران بحكم قصور الجسم الذى يدور وأن كل من سرعة الدوران وكتلة الجسم وطول نصف قطر الدوران هى عوامل تؤثر فى مقدار هذه القوة. وأن نجاح أداء العديد من المهارات الرياضية يعتمد بالمقام الأول على حسن استغلال هذه الظاهرة الطبيعية. ويوضح شكل (٨) اتجاهات كل من قوى الطرد والجذب المركبى وكيفية التعامل معها فى الإطاحة بالمطرقة.



القوى الداخلية والقوى الخارجية في حركة الأجسام :

القوى الداخلية :

عند تعليق أي جسم من نقطة تطابق مع مركز كتلته أو مركز ثقله فإن أي تغيير في شكل الجسم لن يؤدي إلى تغيير في موضع مركز ثقله، فإذا اعتبرنا الجسم في هذه الحالة نظاماً متكاملاً فإن ذلك يعني عدم فعالية القوى الداخلية والمتمثلة في عمل العضلات في تغيير موضع مركز ثقله كما هو موضح في شكل (٩).



شكل (٩)

ثبات موضع مركز ثقل
الجسم رغم تغير شكله
بفعل عمل العضلات.

وتحدث هذه الظاهرة بشكل واضح في كافة المهارات الرياضية أو بعض مراحلها التي يتخاللها مراحل طيران، فبمجرد انطلاق الجسم في الهواء يتحدد مسار مركز ثقله دون أي احتمال للتغير طالما أن الجسم لا يتصل بأي جسم آخر ولا يتأثر بأي قوة خارجية باستثناء الجاذبية الأرضية التي تعمل لأسفل.

فكل ما تحدثه العضلات العاملة خلال مراحل الطيران ما هو إلا تغيير في الشكل الذي يتخذه الجسم حول مسار مركز ثقله الثابت والمحدد فور بدء الطيران.

القوة الخارجية :

تظهر هذه القوة في حالة اتصال الجسم بسطح الأرض أو أي جسم آخر، فعن طريق تغيير شكل الجسم بالنسبة لنقطة اتصاله يعني ذلك أن الجسم قد أثر على نقطة اتصاله بقوة يكون رد فعلها ممثلاً في حركة مركز ثقل الجسم وبالتالي الجسم ككل. فإذا ما أدى اللاعب الحركة الموضحة في المثال السابق مع اتصاله بسطح أي جسم آخر فسوف تنتج حركة لمركز ثقله في اتجاه رد الفعل. أي أنه في حالة مد الجسم ولكن مع اتصال القدم بسطح خارجي فإن ذلك سوف يؤدي إلى ظهور حركة.

وللقوى الخارجية أشكال متعددة نذكر منها :

★ القوى المقاومة للحركة :

وتعمل هذه القوة في اتجاه مقاومة حركة الجسم ومن أهم أشكالها ما يحدث في حركة أحد أجزاء الجسم حيث تمثل القوى المقاومة للحركة في هذه الحالة في كل من :

- الشد العضلي الذي يعمل على مقاومة حركة الجزء بفعل العضلات المضادة.

- مقاومة النسيج الضام المحيط بالفصل المتحرك.

- القوى الناتجة عن اقتراب عظام المفصل المتحرك من بعضها.

- كثافة السائل الموجود بين أنسجة العضلات وكبسولات المفاصل.

وعلى الرغم من أن مثل هذه الأشكال من القوى يطلق عليها قوى معيبة أو مانعة للحركة إلا أنها تمثل أهمية كبيرة في المحافظة على سلامة المفاصل

المتحركة. لذا فإن العمل المقاوم لحركة المفصل ويعادل في أهميته لعمل المسئول عن حركته.

★ القوى المتحركة :

تعتبر القوى المتحركة الأساسية لجسم الإنسان كامنة في عضلاته الإرادية فإنقباض أي عضلة يتبع عنه حركة في المفصل الذي تعمل عليه هذه العضلة. وتعتبر الجاذبية الأرضية قوى متحركة أساسية للجسم ككل فهي دائمة التأثير في اتجاه مركز الأرض فهي تعتبر القوة المتحركة الأساسية لأى جسم يسقط من ارتفاع كحركات لاعب الغطس والجمباز هذا بالإضافة إلى أن هناك بعض الأجهزة والأدوات الرياضية تكسب الجسم قوى متحركة كسلم القفز في الجمباز والغطس والترامبولين والزانة.

هذا بالإضافة إلى أن جميع الحركات الناتجة عن تأثير المنافس كما هو الحال في المصارعة تكون تحت تأثير قوى متحركة.

كما أن الاحتكاك الذي يحدث بين أسطح الاتصال بالإضافة إلى كونه قوى معينة في بعض الحالات، فإنه يعتبر قوى متحركة في العديد من الحالات الأخرى، فبدون حدوث احتكاك بقدر محدد لن يتحقق المشي أو الجري.

التمثيل البياني للقوة :

عند تمثيل القوى عن طريق الرسم فإنه يجب مراعاة الخصائص الأربع السابقة الإشارة إليها في الرسم، كما يجب أن يتم التمثيل بدقة حتى يعبر الرسم عن تفاصيل هذه القوى ويتم التعبير عن القوى بأسمهم يمثل طولها المقدار حيث أنه يمكن اعتبار وحدة الطول معبرة عن وحدة القوة بأن يكون كل اسم مساوياً لخمسة أو عشرة نيوتن وهكذا.

وكذلك بالنسبة لنقطة التأثير حيث ينطلق السهم من نقطة التأثير ليحدد

اتجاه القوة، أما اتجاه التأثير فهو عبارة عن الخط الواصل بين نقطة التأثير ورأس السهم.

ونحو مزيد من الفهم الدقيق لتفاصيل الأداء الحركي، فعادة ما تستخدم الأوضاع الثابتة التي يمكن أن يمر بها الجسم خلال أي أداء لتحليل القوى المؤثرة والناتجة عن هذه الأوضاع ويسمى هذا النوع من التحليل بالتحليل الاستاتيكي وسوف نتناول نموذجين لهذا التحليل لكي نوضح كيفية عمل التمثيل البياني للقوى كأحد الأساليب التي تستخدم في التحليل.

التحليل الاستاتيكي :

تعتبر الأوضاع الاستاتيكية حالة خاصة من حالات تطبيق القانون الأساسي لنيوتون حيث أن عجلة الجسم في هذه الحالة تكون صفر.

إذا ما تناولنا جسماً أو نظاماً في حالة اتزان فإن مجموع القوى المؤثرة فيه يكون صفرًا أي أن ($\sum F = 0$) ومع الأخذ في الاعتبار بأن القانون الأساسي لنيوتون يرمز له بالمعادلة ($\sum F = ma$) حيث ($\sum F$) هي مقدار التفاعل بين الجسم أو النظام والبيئة المحيطة به وأن (ma) هي المظاهر الدالة على هذا التفاعل متمثلةً في كتلة الجسم والعجلة التي يتحرك بها، فإن عدم ظهور قيمة لطرف المعادلة (ma) في هذه الحالة يعني تعادل القوى المؤثرة في الجسم وأن الجسم في حالة إتزان.

وللقوى أساليب تأثير متباعدة تحددها عدة شروط سبق الإشارة إليها ومن هذه الأساليب ما يطلق عليه عزم القوة (Moment) حيث لا تؤثر القوة في هذه الحالة في مركز ثقل الجسم أو النظام ولكنها تؤثر في نقطة تبعد عن هذا المركز مما يؤدي إلى دوران الجسم أو النظام وفي هذه الحالة تتخذ المعادلة الأساسية هذا الشكل ($\sum M_o = 0$) حيث (M_o) هي العزم حول نقطة الدوران.

ولدراسة استاتيكية أى جسم أو نظام على مستوى فراغي واحد هناك ثلاثة معادلات أساسية هي :

$$(1) \text{ صفر} = \sum F_x \quad (2) \text{ صفر} = \sum F_y \quad (3) \text{ صفر} = \sum M_0$$

ففى المعادلة الأولى والثانية تعنى العلامة (\sum) ، مجموع القوى فى كل من الاتجاهين الأفقى والرأسى ، أما المعادلة الثالثة فهى تعنى المجموع الاتجاهى لعزم القوى حول نقطة والتى من الممكن أن تكون مركز الجاذبية فى حالة دوران الجسم فى الهواء أو أى نقطة يفترض أن يدور حولها الجسم وفقا لطبيعة الاتصال.

ولكى يتم استيعاب كيفية تطبيق قانون نيوتن الأساسي فهناك أربعة نماذج رئيسية للتحليل الاستاتيكي تعتبر حالات ضرورية يجب أن تؤخذ فى الاعتبار عند التحليل وسوف نتناول منها حالتين على سبيل الإيضاح .

النموذج الأول : تحديد كل من المقدار والاتجاه لقوة غير معلومة .

يوضح شكل () وجود ثلاثة قوى معلومة المقدار والاتجاه حيث تشير الأسهم المعبرة عن القوى إلى الاتجاه والمقدار .

* نبدأ بعمل مركبتين متocomمدين (y.x) يمثلان مركبات القوة المطلوب تحديد مقدارها واتجاهها . بحيث تعمل هاتين المركبتين على تدوير النظام فى اتجاه عقارب الساعة وبالتالي فإنه يمكن جمع القوى فى كلا الاتجاهين وبافتراض أن الجسم فى حالة اتزان فإن ($\text{صفر} = \sum F_x$) أى أن ($\text{صفر} = R_x - 3$) وبالتالي يكون مقدار (R_x) هو ٣ نيوتن . وينفس الأسلوب يتم التعامل مع القوى فى الاتجاه الرأسى وحيث أن ($\text{صفر} = \sum F_y$) (إإن $\text{صفر} = R_y - 10 - 5$) أى ($R_y = 15$ نيوتن).

وتنطلق عملية التحليل باستخدام المعادلات الثلاثة السابق الإشارة إليها مع الأخذ فى الاعتبار بأن لكل معادلة تطبيقاتها الخاصة بها وأن تحديد المعطيات الموجودة فى أى شكل هو الذى يحدد لنا أى من هذه المعادلات يمكن استخدامها .

فإن كان هدف التحليل هو استنتاج قيمة كل من مركبتي محصلة القوى فإن استخدام معادلة العزوم لا يصلح، فليس من المنطقي أن نقوم بجمع عزوم القوى في هذه الحالة وذلك لأن هذه القوى لا تؤثر بعزم ولا يوجد مسافات تمثل أذرع عزوم لهذه القوى.

وفي حالة معرفة كل من المركبة الرأسية والمركبة الأفقية للقوة فإنه يمكن استخدام نظرية فيثاغورث لاستنتاج قيمة المحصلة حيث

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

وبالتالي فإن مقدار المحصلة يساوى

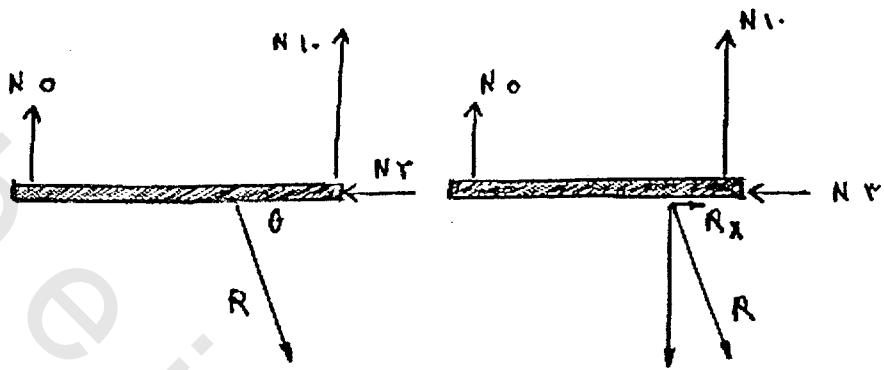
$$15,3 = \sqrt{(15)^2 + (3)^2} \text{ نيوتن}$$

وفي هذه الحالة نجد أن تحديد المقدار أصبح ممكنا ولكن هذه الاجراءات لا تساعد في تحديد الاتجاه ولكن عملية تحديد الاتجاه يمكن أن تتم في ضوء الاستعانة بإحدى الطرق الخاصة بذلك فيمكن تحديد زاوية المحصلة بالنسبة للمستوى الأفقي أو الرأسى عن طريق

$$\text{وهي المركبة الأفقية} \quad \cos \theta = \frac{R_x}{R}$$

$$\text{وهي المركبة الرأسية} \quad \sin \theta = \frac{R_y}{R}$$

فيما أن $\cos \theta = \frac{R_x}{R}$ فإن الزاوية θ تساوى $\cos^{-1} \frac{R_x}{R}$ فتكون قيمة الزاوية $78,5$ درجة أي $1,37$ زاوية نصف قطرية.



شكل () توزيع القوى المؤثرة فى الجسم وحساب المحصلة

النموذج الثاني :

يوضح شكل () مثالاً آخر من الأمثلة التي يمكن أن يستخدم فيها مدخل (القوة والكتلة والعجلة) في التحليل الاستاتيكي في ترين مد الركبة لرفع ثقل.

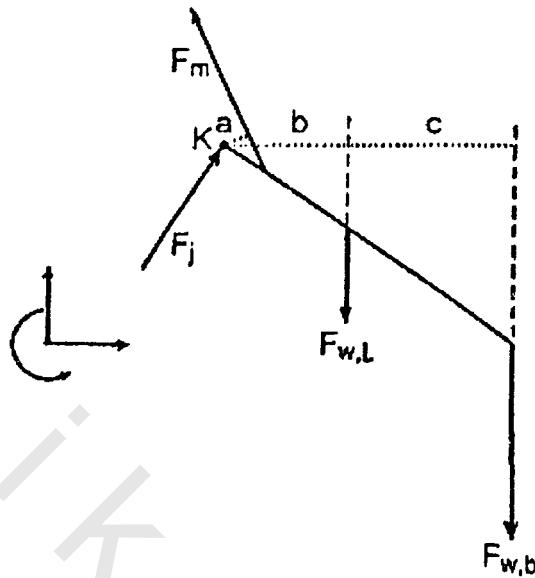
فالهدف في هذا المثال هو تحديد مقدار واتجاه العزم العضلى حول مفصل الركبة (k) لقوة عضلية مقدارها (F_m).

حيث يتضح من الشكل أن هناك ثلاثة قوى تؤثر بعزم أذرعها هي:

$$(\text{متر} . ٣٢٠ . c = ١١٠ . b = ١٢٤ . a = \dots).$$

وأن رد فعل المفصل (F_j) وزن الرجل ($N_w = ٦٤ . F_{w.I}$) وزن الثقل الموضوع على القدم ($N_w.b = ٨ . F_{w.b}$).

وبافتراض أن اللاعب مطالب برفع الثقل وثبتته عند زاوية ركبة مقدارها (٥°، زاوية نصف قطرية) تحت المستوى الأفقي فما هو مقدار العزم العضلى المحصل المطلوب لأداء هذه المهمة.



شكل () الرسم التخطيطي للرجل أثناء عمل تمرين مد الركبة

- ١ - يتم إعادة بناء الرسم التخطيطي (Free body diagram) بناءً على المعطيات.
- ٢ - ثم يتم بعد ذلك اختيار المعادلة المناسبة من المعادلات الثلاثة السابق الإشارة إليها وتحديد مقادير القوى وأذرع عزمهها.
وبما أن الهدف من التحليل هو حساب محصلة العزم العضلي حول مفصل الركبة (K) فإنه يمكن اهمال قيم رد فعل المفصل (F_j) وبالتالي فإن القوى التي تعمل بعزم حول هذا المفصل هي (F_m , $F_{w,L}$, $F_{w,b}$) وذلك في حالة استخدام معادلة العزوم وهذا يعني أن :

$$F_{m,a} - F_{wL} \cdot b - F_{wb} \cdot C = صفر$$

وبالتعويض في المعادلة فسوف نجد أن

$$F_{m.a} = (80 + 32) + (60 \times 11) = 27 + 25, 62 = 4, 62$$

$$F_{m.a} = 29, 9 \text{ نيوتن متر}$$

وبما أن المطلوب هو تحقيق التوازن في الوضع السابق الإشارة إليه فإن مقدار العزم الذي تحدثه القوة العضلية F_m لتحقيق هذا التوازن هو $29, 9$ نيوتن متر.

التحليل الديناميكي :

عندما يقع الجسم تحت تأثير قوى غير متوازنة فإن هذه القوى سوف تكسب الجسم عجلة وبالتالي فإن تحليل حركة هذا الجسم تعرف بالتحليل الديناميكي. وتستخدم نفس المعادلات الثلاثة السابق ذكرها في التحليل الاستاتيكي عند الشروع في إجراء التحليل الديناميكي باستثناء أن الجانب الأيمن من المعادلة لا يساوي صفرًا، حيث يمثل هذا الجانب ناتج ما يحدث من كمية حركة وعلى ذلك فإن المكونات التقىاسية وكذلك المكونات الدورانية تكتب على النحو التالي:

$$(1) \text{ (صفر)}_x = \sum F_x = m a_x + m a_d \quad (2) \text{ (صفر)}_y = \sum F_y = m a_y$$

حيث (F_x, F_y) هي مقادير القوى في الاتجاهين الأفقي والرأسي ، (m) هي الكتلة ، (a) هي العجلة ، هذا بالنسبة للحركة الانتقالية ، أما بالنسبة للحركة الدورانية (المعادلة ٣) فيكون (1°) هي عزم القصور الذاتي للجسم حول محور دوران(O) ، (a) هي المسافة العمودية بين المحور وأى محور موازى له ، (M°) هي مقدار العزم حول المحور (O) ، (α) هي العجلة الدورانية أو الزاوية.

$$\sqrt{(a_x)^2 + (a_y)^2} = a$$

ومجموع القوى على المستوى الفراغي المعين

$$\Sigma F = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2}$$

وكما هو الحال في المعالجة الاستاتيكية فإن هذه المعادلات تفسر الحركة الخطية في الاتجاهين (y,x) والحركة الدورانية في اتجاه واحد.

ومن المعادلة (1)، (2) نجد أن علامة المجموع (Σ) للقوى واتجاه (x, y) تعادل الكتلة مضروبة في العجلة (a) التي يتحرك بها كل جزء من أجزاء الجسم في كلا الاتجاهين.

أما المعادلة (3) فهي تفسر أن مجموع العزوم حول النقطة (o) هي عبارة عن مكونين رئيسيين، الأول يرتبط بكينياتيكا الدوران والتي يفسرها عزم القصور الذاتي (I_o) والعجلة الزاوية حول محور الدوران (α) ، والثاني يرتبط بكينياتيكا الحركة الخطية التي تتضمن كل من كتلة الجسم (m) وعجلته الخطية (a) لمركز ثقل الجسم والمسافة العمودية بين محور مركز ثقل الجسم ومحور الدوران (d) وبالتالي فإن قيمة (mad) مساوية للصفر لأن الحركة دورانية ويمكن اختصار المعادلة إلى $(\sum M_o = I_o \alpha)$

وإذا كان الجسم أو النظام عبارة عن وصلة واحدة، كما هو الحال عند دوران أي جزء من أجزاء الجسم حول محور ثابت، فإن التأثير الدوراني للقوى، يمكن حسابه عن طريق المعادلات التالية :

$$(1) \quad \sum M_o = I_o \alpha \quad (2) \quad \sum F_t = mr \alpha \quad (3) \quad \sum F_n = mr\omega^2$$

حيث ($mr\omega^2$) ترتبط بقوى الجذب المركزي، (mr, α) ترتبط بالقوى الطاردة المركزية .

وقد سبق وعرفنا الخاصية القصورية بأنها مقدار المقاومة التي يبذلها الجسم لمنع التغير في سرعته الخطية، وبينس الأسلوب فإن عزم القصور الذاتي هو القيمة المعبرة عن مقاومة الجسم للحركة الدورانية وهي مقياس لتوزيع الكتلة أو الكتل بالنسبة للمحور المراد إحداث الدوران حوله. ووحدات قياس عزم

القصور الذاتى هى (كيلو جرام . متر^٢) ($\text{Kg} \cdot \text{m}^2$) وبناءً على ذلك فهل من الممكن معرفة كيفية حساب عزم القصور الذاتى من وحداته؟

كلما زادت المسافات بين الكتلة أو كتل الأجزاء كلما زاد مقدار عزم القصور الذاتى ، وبالتالي فإن عزم القصور الذاتى لأى جسم لا يعتبر قيمة ثابتة ولكنه كمركز الثقل يتغير بتغير موضع الكتلة أو الكتل المكونة للجسم فعلى سبيل المثال ، تختلف قيم عزم القصور الذاتى للجسم أثناء الدوران فى الهواء بين الوضع التكروز والمنحنى المستقيم كما هو موضح فى جدول () .

جدول ()

قيم عزم القصور الذاتى فى أوضاع مختلفة حول المحاور الثلاثة

المحور الرأسى	المحور السهمي	المحور العرضى	الوضع
٣,٨٣	١٥,٠٩	١٢,٥٥	المستقيم
٤,٧٩	٨,٩٨	٨,٣٨	المنحنى المفتوح
٣,٥٨	٦,٦٠	٨,٠٥	المنحنى المغلق
٥,٩٤	٤,٤٢	٤,٠٤	التكرور

ويمكن حساب عزم القصور الذاتى لأى جسم حول محاور دوران أخرى ، أى أنه يمكن القول أن لكل كتلة عزم قصور ذاتى حول محاور الدوران الثلاثة وهذه القيم مختلفة باختلاف المحور .

ونظراً إلى أن الجانب الأيمن من المعادلات في التحليل الديناميكى لا يساوى صفرًا فإنه يمكن استخدام ما يسمى بالرسم التخطيطى للجسم المتحرك على غرار الرسم التخطيطى للجسم الثابت Mass Acceleration Diagram . فى التحليل الاستاتيكى . (Free body diagram.)

ويعتبر الفرق الوحيد بين التحليل الديناميكى (MAD) والتحليل الاستاتيکى (FBD) هو احتواء التحليل الديناميكى على قيم عزم القصور الذاتى والعجلة الزاوية كمتغيرات دورانية تعبر عن مقدار الحركة.

بعض القوانين الميكانيكية المفسرة لحركة الجسم

★ كمية الحركة الخطية :

تسبب القوة في تأثيرها على أي كتلة حركة لهذه الكتلة لها سرعة معينة أو أنها قد تغير من سرعة هذه الكتلة إذا كانت في حالة حركة ويمكن أن نسمى ما يحدث في هذه الحالة بمقدار الحركة، الذي يتمثل في ناتج ضرب كل من الكتلة والسرعة.

ومقدار الحركة قابل للتغيير تحت تأثير أي قوى مضافة سواء بالزيادة أو النقص وهو يعبر عن كمية الحركة والتي يرمز لها بالرمز (M) ويمكن حسابها عن طريق :

حيث (m) هي الكتلة، (v) هي السرعة، وتستخدم وحدات الكيلوجرام متر/ث لتمييز هذا التغيير.

وبناءً على ذلك فإنه عندما تؤثر أي قوة على جسم ما وتغير من سرعته فإنها بذلك تعمل على تغيير كمية حركته، وكلما زاد مقدار القوة وزمن تأثيرها زادت كمية حركة الجسم.

ومن الممكن أن يحدث تغيير في كمية الحركة بمعدلات سريعة ولكن يتطلب ذلك قوى عالية القيمة وسريعة التأثير كما هو الحال في تسارع جسم العداء في بدايات السباق.

★ الدفع :

إن المعدل السريع في تغيير كمية حركة الجسم يقودنا إلى مفهوم جديد يعرف بالدفع، حيث الدفع ما هو إلا قوة كبيرة لزمن محدود تؤثر في تغيير كمية حركة الجسم تغييراً كبيراً.

فالتغير في كمية حركة الجسم تحت تأثير قوة كبيرة لزمن محدود يعني الفرق بين كميتي الحركة قبل وبعد حدوث تأثير القوة ($\frac{mv_2 - mv_1}{t}$) وهذا يعني أن زمن التأثير هنا يلعب دوراً جوهرياً، فقوة قليلة تؤثر لفترة زمنية طويلة قد تؤدي إلى نفس النتيجة في حالة إذا كانت القوة كبيرة وتؤثر لفترة زمنية قليلة.

لذا فإنه يمكن صياغة قانون العجلة لنيوتون بالشكل الذي يوضح التغير في كمية حركة الجسم على النحو التالي :

$$F(t) = M_2 - M_1 = \Delta M$$

حيث (F) هي القوة ، (t) هو زمن تأثيرها ، (M_2) هي كمية الحركة النهائية ، (M_1) هي كمية الحركة الابتدائية ، ، (Δ) هي معدل التغيير.

كمية الحركة الزاوية :

يقاوم أي جسم الحركة بفعل خاصيته القصورية التي تمثل الكتلة في الحركة الخطية وقصور الدوران في الحركة الدورانية. فالجسم يقاوم التغير في حالته سواء كانت خطية أو دورانية، وب مجرد أن يتحرك الجسم حركة دورانية فإنه يكتسب كمية حركة زاوية وقيمة هذه الحركة الدورانية عبارة عن قصوره الدوراني مضروباً في سرعته الدورانية أو الزاوية.

ويستخدم مصطلح عزم القصور الذاتي في التعبير عن الخاصية القصورية المقاومة لحركة الجسم في مسار دائري، ويستخدم القانون التالي في إيضاح ذلك حيث

$$L = I\omega = mk^2 \cdot \omega$$

حيث (L) هي كمية الحركة الدورانية، (m) هي كتلة الجسم، (k) هي نصف قطر القصور، (I) هي قيمة ثابتة تعبّر عن قصور الدوران ولها جداولها الخاصة، (ω) هي السرعة الزاوية.

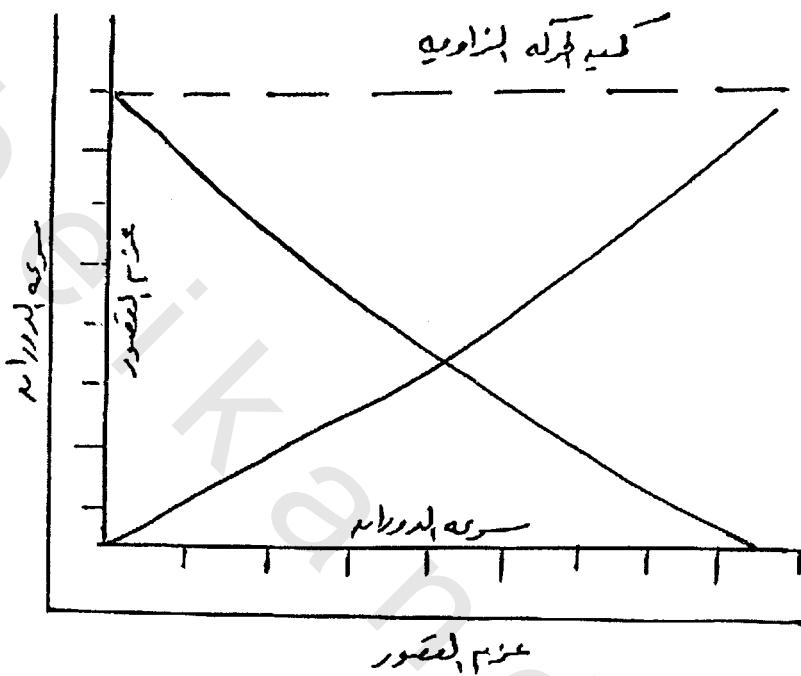
وتمثل كمية الحركة الزاوية لأجزاء الجسم المختلفة الدور الأساسي في جميع الأداءات الرياضية وتأثر الخاصية القصورية الدورانية للجسم البشري بتغيير الأوضاع التي يتخذها أثناء الدوران سواء كان هذا الدوران حرّاً في الهواء أو حول محور ثابت، بمعنى أن قيمة هذا القصور أو المقاومة الطبيعية للدوران تصل إلى أدنى حد عندما يكون الجسم في حالة تكور أي باقتراب الأجزاء من المحور الرئيسي للجسم كما تصل إلى أعلى حدودها في حالة الامتداد الكامل.

فمن السهل أن نلاحظ سهولة الدوران والجسم في حالة تكور عنه والجسم في حالة امتداد بل وأن مقاومة الجسم للدوران في حالة دوران الجسم وهو مستقيم قد تصل إلى أربعة أضعاف مقاومته للدوران وهو في حالة تكور.

وعلى نفس النمط الذي نتعامل به مع الجسم في الحركة الخطية فإن دوران الجسم في الهواء تحكمه كمية الحركة الزاوية التي انطلق بها فهذه القيمة لا تتغير منذ لحظة الانطلاق وحتى الهبوط إلا أنه يمكن استغلال الارتباط القوي بين كل من سرعة الدوران (ω) وعزم القصور الذاتي (I) في تشكيل الأوضاع والسرعات التي تتطلبها الأداءات الرياضية.

يعنى أن تقليل قيمة عزم القصور الذاتي إرادياً يؤدى إلى زيادة السرعة الزاوية أو سرعة الدوران، فلکى يحقق لاعب الجمباز أو الغطس أعلى سرعة دوران ممكنة فإنه يقوم بعمل تكور أي بمعنى تقبّب أجزاء جسمه من المحور المراد الدوران حوله، في حين يعمل على مد جسمه في الإعداد للهبوط للتقليل من سرعة الدوران وتحقيق الهبوط المناسب.

من ذلك يتضح أن هناك علاقة ثابتة تفسر حركة الجسم في الهواء بعد انطلاقه بكمية حركة دورانية لها قيمة معلومة ويوضح ذلك شكل () .



شكل () علاقة عزم القصور الذاتى بالسرعة الزاوية خلال الطيران

وبنفس الأسلوب الذى اتبناه فى حساب الدفع فى الحركة الخطية وهو يعادل التغير فى كمية الحركة فإنه يمكن حساب ما يسمى بدفع الدوران أو الدفع الزاوي الذى يرتبط بمعدل التغير فى كمية الحركة الدورانية فدفع الدوران يساوى $(I\omega_2 - I\omega_1)$

حيث $(I\omega_1)$ هى كمية الحركة الدورانية قبل تأثير دفع الدوران، $(I\omega_2)$ هى كمية الحركة الدورانية بعد تأثير دفع الدوران.

دفع الدوران لا يتحقق إلا إذا تأثر الجسم بعزم دوراني، أي يعني تأثر الجسم بقوة أو مجموعة من القوى لا يمر خط عملها عبر مركز ثقله.

العزم والحركة الدورانية :

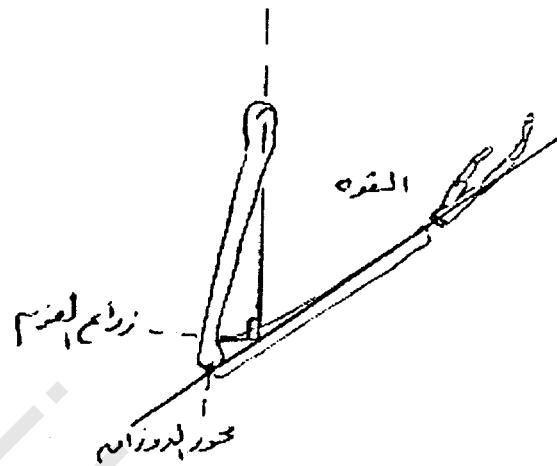
يؤدي تأثير أي قوة خارجية على أي جسم أو نظام ميكانيكي حر إلى حركة هذا النظام حركة خطية. أما إذا كان هذا الجسم أو النظام مقيداً من أحد أطرافه، فإن القوة المؤثرة فيه سوف تؤدي إلى دورانه حول نقطة ثبيته وهى تسمى محور الدوران، وذلك بشرط إلا يمر خط تأثير القوة بنقطة التثبيت. أي يعني أن تؤثر القوة في نقطة تبعد عن محور الدوران ويوضح ذلك في الحياة العامة حركة فتح باب أو شباك حيث تعتبر المصلّة محور دوران الباب تحت تأثير قوة الفتح التي تؤثر بخط عمل يمر بالأكّره.

وتسمى هذه القوة في هذه الحالة بالقوة اللا مركبة ويسمى تأثيرها الدوراني بالعزم (torque) وتسمى المسافة العمودية بين محور التثبيت أو الدوران وخط عمل القوة بذراع العزم أو ذراع القوة ويرمز لها الرمز (T) ومع زيادة هذه المسافة يزيد مقدار العزم لنفس القوة.

خصائص العزم :

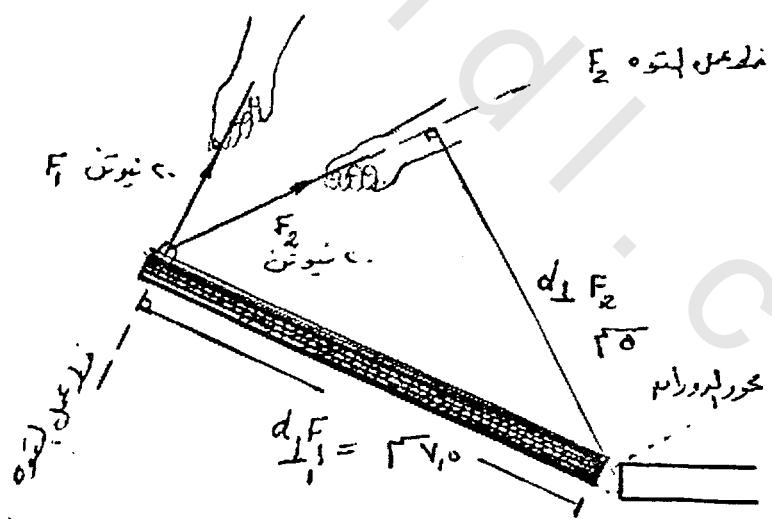
تستخدم نفس خصائص القوة المشار إليها سلفاً (المقدار - الاتجاه - خط العمل - نقطة التأثير) في تناول العزم كصورة تطبيقية للقوة حيث يعني المقدار القوة في ذراع العزم (Fd) ، والاتجاه إما أن يكون في اتجاه عقارب الساعة أو عكسها.

ونوّد الإشارة هنا إلى أن الانقباض العضلي يعمل على المفاصل بعزم ونتائج هذا العزم هو دوران للطرف الذي تعمل عليه العضلة ويوضح شكل () ناتج العزم على المفصل.



شكل () ايضاح مكونات العزم في العمل العضلي

مثال : حساب العزم لقوى مختلفت الاتجاه وتأثيران في نقطة تأثير واحدة



شكل () حساب العزم لقوى متساويتين في المقدار مع اختلاف اتجاه الشد

يوضح شكل () قوتين (F_1 & F_2) قيمة كل منهما ٢٠ نيوتن وذراع عزم القوة الأولى (٥ سم) في حين ذراع عزم القوة الثانية (٥ سم) وبذلك يكون عزم القوة الأولى

($F_1d_{\perp 1}$) هو (١٥٠ نيوتن . سم) في حين يكون عزم القوة الثانية ($F_2d_{\perp 2}$) هو (١٠٠ نيوتن . سم)

ويجب ملاحظة أنه كلما قلت المسافة العمودية (d) قل مقدار العزم حتى إذا وصلت هذه المسافة إلى الصفر كان مقدار عزم القوة (صفر) حيث أن هذه القوة لن تؤثر بعزم ولكنها سوف تؤثر بمقدارها المباشر في المحور.

الروافع

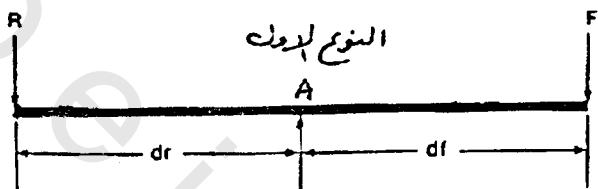
تعتبر الرافعـة آلـة مـيكـانـيـكـية بـسيـطـة استـخدـمـهـا الإـنـسـان عـلـى مـرـبـوـعـة العـصـور لـلـتـغـلـب عـلـى المـقاـومـات الـخـارـجـية وـتـحـريـك الـأـجـسـام الـثـقـيلـة، وـذـلـك عـن طـرـيق بـذـلـ مـجهـود بـسيـطـ نـسـبيـاً فـي إـنـجـاز أـعـمـال يـصـعـبـ إـنـجـازـهـا بـالـقـوـةـ الـعـضـلـيةـ الـعـادـيـةـ. حـيـثـ يـتـجـعـ عـنـ سـتـخـدـمـ الـرـافـعـةـ شـغـلـاًـ مـيكـانـيـكـياًـ يـعـملـ عـلـىـ اـتـزـانـ أوـ تـحـريـكـ الـأـجـسـامـ (ـالـمـقاـومـاتـ)ـ لـسـافـاتـ مـحدـدةـ.

وـالـفـكـرـةـ الـأسـاسـيـةـ مـنـ الـرـافـعـةـ باـخـلـافـ أـنـوـاعـهـاـ، هـىـ وـجـودـ مـحـورـ ثـيـثـ أوـ دـوـرـانـ تـبـاـيـنـ أـمـاـكـنـ تـأـيـيـدـ كـلـ مـنـ الـقـوـةـ وـالـمـقاـومـةـ الـمـؤـثـرـةـ فـيـهـ بـتـبـاـيـنـ هـذـهـ الـأـنـوـاعـ، وـبـاـ أـنـ الـمـسـأـلـةـ تـعـمـدـ عـلـىـ وـجـودـ هـذـاـ الـمـحـورـ فـإـنـ التـأـيـيـدـ الـمـيكـانـيـكـيـ لـهـذـهـ الـقـوـىـ (ـالـقـوـةـ الـمـبـذـولـةـ -ـ الـمـقاـومـةـ الـمـرـادـ التـغـلـبـ عـلـيـهـاـ)ـ يـكـونـ عـبـارـةـ عـمـاـ تـحدـدـ هـذـهـ الـقـوـىـ مـنـ عـزـومـ حـولـ هـذـاـ الـمـحـورـ.

وـتـنـاـوـلـ مـوـضـوـعـ الـرـافـعـ فـيـ تـفـسـيرـ حـرـكـةـ أـجـزـاءـ الـجـسـمـ الـبـشـرـىـ، جـاءـ لـيـوضـحـ تـطـبـيـقـاـ عـمـلـيـاـ لـهـذـاـ الـمـفـهـومـ فـيـ عـمـلـ الـعـضـلـاتـ عـلـىـ الـمـفـاـصـلـ حـيـثـ أـنـ الـعـضـلـاتـ تـعـمـلـ وـكـمـ سـبـقـ بـعـزـومـ دـوـرـانـيـةـ لـوـجـودـ الـمـفـاـصـلـ، فـأـيـ طـرـفـ مـنـ أـطـرـافـ الـجـسـمـ يـتـحـركـ بـالـدـوـرـانـ حـولـ مـحـورـ الـمـفـصـلـ الـذـيـ يـشـتـرـكـ فـيـهـ.

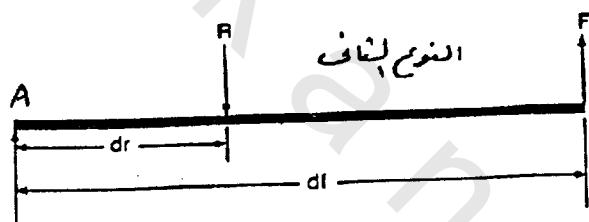
أنواع الروافع الميكانيكية :

يحدد مكان محور الدوران بالنسبة للقوى المؤثرة والقوى المقاومة نوع الرافعة حيث تنقسم الروافع إلى ثلاثة أنواع يوضحها شكل () .

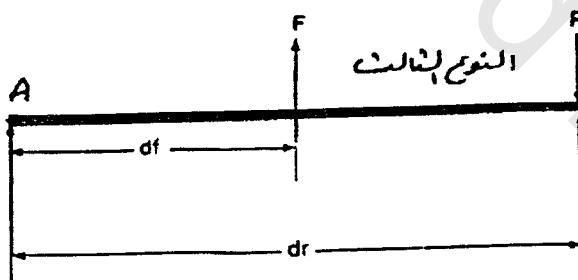


شكل ()

أنواع الروافع الثلاث
ومكان كل من محور
الدوران والقوة المحركة
والمقاومة .



حيث (F) هي القوة
المحركة، (R) هي
المقاومة، (A) هي محور
الدوران، (d) هي البعد
العمودي



النوع الأول: يلاحظ من الشكل أن هذا النوع يتميز بوجود محور الدوران بين خطى تأثير كل من القوة المحركة والمقاومة .

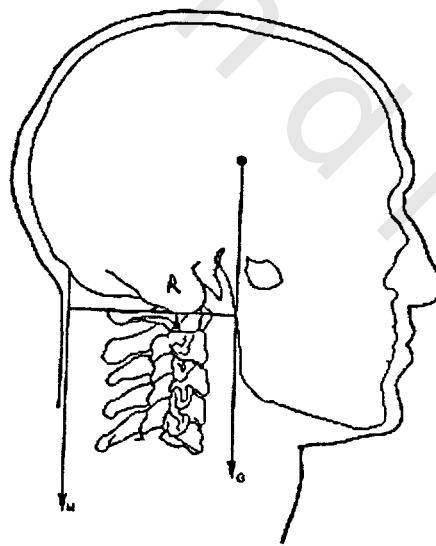
النوع الثاني: ويتميز بوجود المقاومة بين كل من خط تأثير القوة ومحور الدوران.

النوع الثالث: ويتميز بوجود القوة بين كل من خط تأثير المقاومة ومحور الدوران.

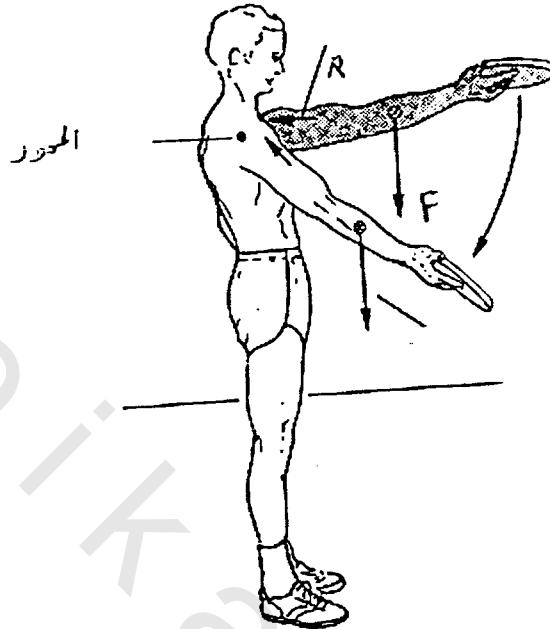
ولكل رافعة ميزة ميكانيكية تحكمها العلاقة بين كل من القوة المحركة والقوة المقاومة، ونواتج عزميهما حيث أنه يمكن استنتاج الميزة الميكانيكية للرافعة بناتج قسمة القوة المقاومة على القوة المحركة فإذا ما كان ناتج القسمة أكثر من واحد صحيح فإن هذا يعني عدم وجود ميزة ميكانيكية للرافعة، أما إذا قل الناتج عن واحد صحيح فإن هذا يعني أن للرافعة ميزة ميكانيكية يحددها مقدار هذا الناتج. ويمكن تطبيق هذه القاعدة على أنواع الروافع الثلاث.

والشكل التالي يوضح نماذج من الروافع الميكانيكية في الحياة العامة.

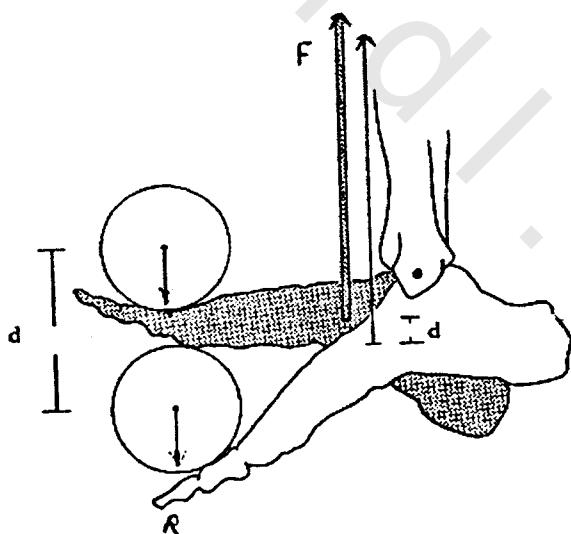
امثلة لاتواع الروافع في جسم الإنسان



شكل () وضع الرأس كرافعة من النوع الأول حيث (G) هي وزن الرأس (المقاومة) ، (R) هي المحور ، (M) هي القوة العضلية.



شكل () حركة الذراع كرافعة من النوع الثاني حيث تعمل العضلات القابضة كمقاومة وزن الذراع والثقل كقوة محركة.



شكل () حركة القدم كرافعة من النوع الثالث حيث (F) القوة العضلية و (R) هي المقاومة.

وكما سبق وأشارنا فإن العضلات في عملها تعتبر مصدرًا للقوة في رافعة ميكانيكية مكوناتها إلى جانب القوة العضلية كل من المقاومة المراد التغلب عليها وينتها وزن الطرف المتحرك بالإضافة إلى ما يحمله من أثقال خارجية ومحور الفصل الذي تحدث حوله الحركة.

وبالتالي فإنه يمكن تطبيق القواعد العامة للرافع على حركات الأطراف في جسم الإنسان عند قيامه بأداء أي عمل.

فمعظم رافع الجسم من النوع الثالث، حيث يقع فيها خط تأثير القوة العضلية بين محور الدوران والمقاومة، وإذا تناولنا هذا الموضوع من حيث الميزة الميكانيكية التي يتيحها العمل العضلي فسوف نجد أن هذه الميزة محدودة جداً، إلا أن انعدام العضلات على مسافات قريبة من محاور المفاصل يسمح بمدى حركى واسع فى الطرف البعيد للجزء المتحرك وهذه هي إحدى أهم ميزات الرافع من النوع الثالث، حيث أن هناك اختلافاً كبيراً بين حركات الأجسام المادية وحركة أطراف الجسم البشري والتي تتسم بدرجة كبيرة من الدقة والضبط والتواافق مع توافر سرعة عالى فى الطرف البعيد.

إذا ما اعتبرنا القوى العضلية قوة محركة للرافعة فإن الأمر يحتاج إلى نوع من الدعم يتمثل في مشاركة مجموعة من العضلات في العمل وهو ما يتوفّر في جميع مفاصل الجسم حيث لا تعمل عضلة واحدة في أداء أي مهمة حركية. فقبض الساعد هو بالمقام الأول مسئولية العضلة ذات الرأسين العضدية إلا أنه في حقيقة الأمر نجد أن العضلة العضدية الكعبيرية والعضلة العضدية تعملان عند بدء القبض في مساعدة العضلة الرئيسية على إنجاز العمل المطلوب منها.

ومن أكثر الأمثلة أيضاً للمميزات الكامنة وراء وجود نقطة تأثير القوة على مسافة قريبة من المفصل، هو انتقاض العضلة الصدرية العظمى في حالة وجود الذراع جانبًا، فعلى الرغم من أن المدى الذي تتحرك فيه العضلة عند انتقاضها في هذا الوضع لا يزيد عن 2 سم إلا أن المدى الزاوي الذي يتحرك

فيه الذراع يصل إلى ٨٣ درجة فتضاعف حركة الذراع وتزيد سرعة اليد حيث تندغم العضلة الصدرية العظمى في الحافة الخارجية لعظام العضد وأقرب ما يمكن إلى مفصل الكتف.

وهذا المثال يوضح دور عمل هذه العضلة في الضربة الجانبية في التنس حيث تصل سرعة المضرب إلى حوالي ٣٥ ضعف سرعة الكوع رغم تحرك الذراع ككل بسرعة زاوية واحدة.

أما إذا تغير الحال فأصبحت القوة العضلية قوى مقاومة للحركة التي تسببها الجاذبية الأرضية، أو أي قوى خارجية لقوى محركة فإن متغيرات الرافعة سوف تختلف وتصبح من النوع الثاني الذي تنحصر فيه المقاومة بين القوة ومحور الدوران وهذا النوع يتميز بتوافر الدقة على حساب السرعة.

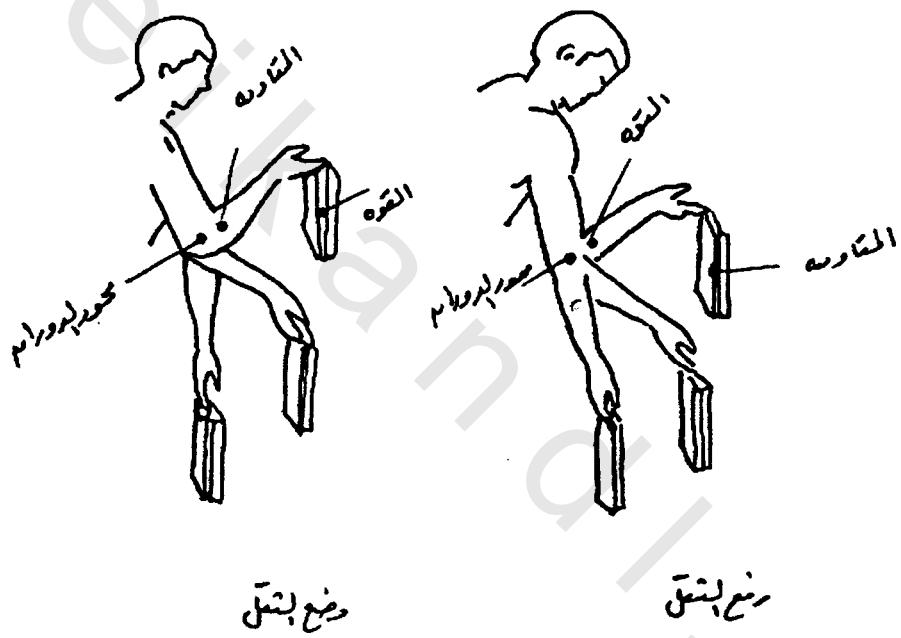
وهنا نود الإشارة إلى أن توظيف القوى الناتجة عن العمل العضلي لا يكون في كل الحركات على أساس أنها قوى محركة فقد تكون في حالات كثيرة قوى مقاومة للحركة التي تسببها قوى خارجية، هذا بالإضافة إلى أنه خلال لحظات الأداء المتناهية في الدقة، قد يتغير نوع الرافعة بين النوعين الثالث والثاني وفقاً للأوضاع التي يتخذها الجسم ومتطلبات كل وضع وسوف نتناول نموذج يوضح ذلك.

حركة مفصل المرفق في رفع أو وضع ثقل على منضدة :

الاحتمال الأول: عندما تعمل العضلات كقوة محركة لرفع الثقل، فهي في هذه الحالة تعمل كرافعة من النوع الثالث تقع فيها القوة بين المقاومة ومحور الدوران ويكون ذراع القوة هنا أقل بكثير من ذراع المقاومة.

الاحتمال الثاني: عندما تعمل العضلات كقوة مقاومة لحركة الثقل عند وضعه على المنضدة فإن القوة المحركة في هذه الحالة تكون وزن الساعد مضائعاً إليه وزن الثقل وبالتالي تصبح الرافعة من النوع الثاني الذي يطول فيه ذراع القوة عن ذراع المقاومة. كما هو موضح في شكل ().

وهذا يعني أن تحديد نوع الرافعة في الجسم البشري تحكمه عدة اعتبارات غير تلك الاعتبارات التقليدية في تصنيف الروافع، فاعتبار القوة العضلية قوة محركة أو قوة مقاومة للحركة هو أحد أهم هذه الاعتبارات وبالتالي فهو عامل حاسم في تحديد نوع الرافعة.



شكل () احتمالات تحديد نوع الرافعة في رفع ووضع الثقل

ونظراً إلى أنه يصعب تناول العمل العضلي تفصيلاً بين كونه قوة محركة أو قوة مقاومة للحركة أثناء الأداءات الرياضية، وقد اتضح ذلك في المثال

السابق، فإنه يمكن القول أن تناوب عمل عضلات بين أشكال الانقباض المعروفة (ثابت - متحرك) وتبادل العمل بين المجموعات العضلية المشاركة في أي أداء إنما يتم وفق استراتيجية محددة يتحكمها جهاز للتحكم غاية في التعقيد هو المخ والجهاز العصبي وأجهزتهم المساعدة.

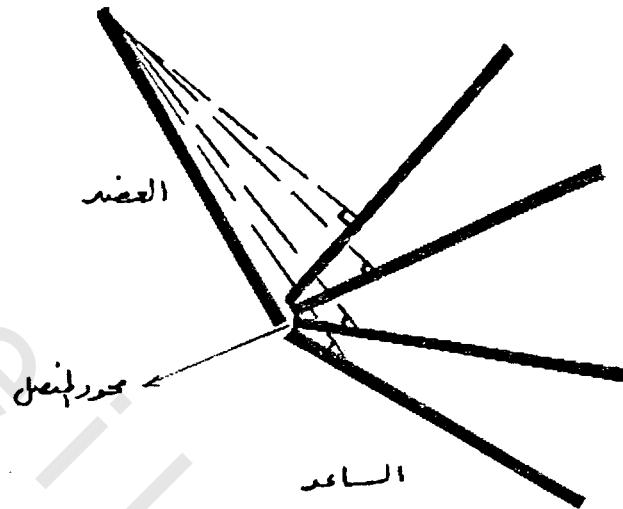
مركبات التثبيت والتدوير في القوة العضلية :

تعمل العضلات بصفة عامة عند انقباضها على تحريك المفاصل وللانقباض العضلي ناتج قوة يتحول إلى عزم دوران للعظام المتحركة بحكم تواجدها في حالة تفضيل مع عظام أخرى حيث يمثل محور المفصل محوراً لدوران الطرف المتحرك، وهنا يكون ناتج الانقباض العضلي عبارة عن عزم حيث أن نقطة تأثير القوة تكون بعيدة عن المحور ويحددها بعد اندغام العضلة عن المحور.

ومن هذا المنطلق فإن العزم الذي تؤثر به القوة العضلية على العظام يسبب مظهرين حركيين أساسين أحدهما يتمثل في دوران الطرف المتحرك في حين يتمثل الثاني في شد العظام المتحركة في الاتجاه المفصلي ويسمى المظاهر الأول بمركبة التدوير أو التحرير كما يسمى المظاهر الثاني بمركبة التثبيت.

وبناءً على مفهوم العزم، فإن البعد العمودي ($\perp d$) بين خط تأثير القوة ومحور المفصل يمثل ذراع العزم الذي تؤثر به هذه القوة في تحريك العظام.

ومع تغير زاوية المفصل نتيجة لحركته تحت تأثير الانقباض العضلي يتغير اتجاه الشد وبالتالي يتغير مقدار العزم ويوضح شكل () تغير زاوية الشد بتغير حركة الطرف وبالتالي تغير قيم كل من مركبة التدوير ومركبة التثبيت.



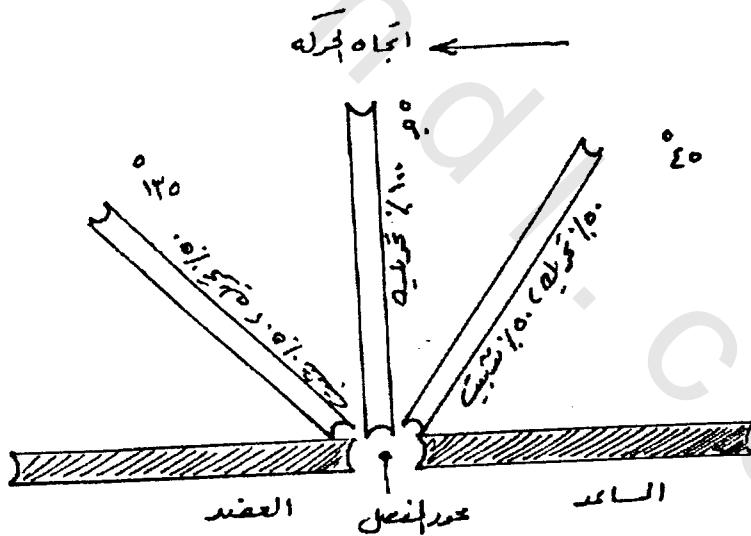
شكل () تغير زاوية الشد للعمل العضلى بتغير حركة الطرف وبالتالي تغير زاوية المفصل

وفي كل حالة من حالات زاوية المفصل تتغير مقادير مركبات كل من التدوير والثبيت بتغير زاوية شد العضلة وهى الزاوية المحصورة بين المحور الطولى لعظام الطرف المتحرك واتجاه شد العضلة هو الخط الواصل من الاندغام إلى المنشأ.

ويحدد البعد بين نقط اتصال العضلات بالعظام مقادير مركبتي التحرير أو التدوير والثبيت. فإذا ما كانت العضلات تتصل بالعظام على مسافات بعيدة نسبياً فإن ذلك يعني أن نسبة عزم التدوير تكون أكبر حيث أنه يمكن تحليل اتجاه شد العضلة إلى مركبتين متعامدين عند نقطة اتصال العضلة بالعظام، تمثل المركبة العمودية مركبة التدوير في حين تمثل المركبة الأفقية مركبة الثبيت. وبناءً على ذلك فبعد اتصال العضلات بالعظام عن محور المفصل يؤدى إلى زيادة قيمة هذه المركبة.

وعندما تصل زاوية الشد العضلي إلى (90°) تكون كل القوى الناتجة عن الانقباض العضلي في اتجاه مركبة التحرير حيث أن الشد العمودي لا يحلل إلى مركبات. واختلاف الزاوية بزيادة أو نقص يعني إعادة توزيع الشد إلى مركبات رأسية وأفقية.

وتتساوى مقادير كل من المركبتين عندما تصل زاوية الشد العضلي إلى (45°) ، (135°) وباعتبار أن المدى الكامل لأى مفصل هو 180° فإنه يمكن إيضاح توزيع ناتج القوة العضلية على كل من مركبتي التدوير والثبيت على النحو التالي :



شكل () توزيع ناتج القوة العضلية بتغيير زاوية الشد

ما سبق يتضح أن أفضل مراحل التغلب على المقاومات الكبيرة لتحريرها ومنها وزن الجسم في العديد من المهارات الرياضية، هي المرحلة التي تقترب فيها زاوية شد العضلة إلى ٩٠ درجة، ففي حالة أداء أي تمرين انتقال يستخدم فيه الحد الأقصى يلاحظ تسارع الثقل في حركته في المدى الراوي القريب من ٩٠° هذا بالإضافة إلى عوامل أخرى لا يتسع المجال إلى ذكرها.

وعادة ما ينظر لزاوية شد العضلة على أنها زاوية المفصل إلا أن هذه النظرة ليست قاعدة على كل عضلات الجسم فقد تكون زاوية المفصل ١٢٠° مثلاً وتصل عندها زاوية الشد إلى ٩٠° كما هو الحال في عمل العضلات الأمامية للفخذ في حين تصل زاوية الشد إلى ٩٠° عندما تكون زاوية منفصل الركبة بين ٨٠° - ٧٠° في حالة عمل العضلات الخلفية لقبض الركبة.

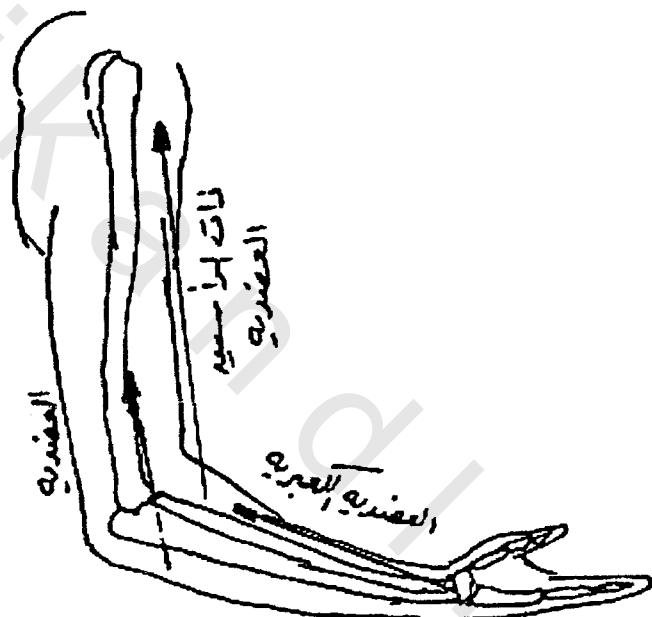
ومثل هذا التحديد للعضلات العاملة على مفاصل الجسم المختلفة يحتاج إلى المزيد من الدراسات.

وتبدو ظاهرة أماكن اتصال العضلات بالعظم على درجة عالية من الأهمية في تحديد أنماط أجسام الرياضيين ذوي المستويات العالية، فبدراسة الشكل الظاهري يلاحظ أن العدائين ولاعبى الوثب العالى والطويل والقفز بالزانة يتميزون بأماكن اتصال للعضلات بعيدة نسبياً عن لاعبى المصارعة ورفع الأنقال والجودو حيث تتطلب مهارات لاعبى المجموعة الأولى قدرأً من السرعة فى الأداء وبالتالي مركبات تحريك أكبر فى حين يتميز لاعبى المجموعة الثانية باتصال عضلاتهم على مسافات قريبة نسبياً لاحتاجتهم إلى مركبات ثابتة أكبر من مركبات التحرير.

وبمتابعة توزيع العضلات على جسم الإنسان فإننا سوف نلاحظ أن معظم العضلات تأتى على شكل طبقات سواء بشكل كامل أو جزئي وأن الحكمة من توزيعها على هذا النحو هي ضمان تميز الجهاز الهيكلى بأعداد هائلة من

الاحتمالات الحركية التي غالباً ما يشارك في كل احتمال فيها عدد كبير من العضلات وأن دور العضلات الموجودة في الطبقات الغائرة غالباً ما يتدخل في المشاركة بقدر كبير من ثبيت المفصل المتحرك حيث تأتى أماكن اتصالات هذه العضلات بالعظم أقرب ما يكون إلى محاور المفاصل بمقارنتها بالعضلات الموجودة في الطبقات السطحية.

نموذج تحليل عمل بعض العضلات على مفصل المرفق :



شكل () بعض عضلات الذراع وشكل مركباتها

تعتمد عملية تحليل عمل العضلات المشاركة في نوع عمل واحد كالمجموعة المسئولة عن قبض مفصل المرفق على تحديد طول ذراع عزم كل

عضلة من هذه العضلات ويوضح الشكل السابق أن مركبات التدوير (التحريك) في كل من العضلة ذات الرأسين العضدية والعضلة العضدية تكون أكبر كثيراً من العضلة العضدية الكعبية، فزاوية شد الأخيرة تعتبر قليلة نسبياً بمقارنتها بباقي العضلات بل وأن أقصى زاوية شد لهذه العضلة لا تزيد عن 45° وبالتالي فإن عملها على ثبيت المفصل يكون عملاً أساسياً.

أما بالنسبة للعضلة العضدية فإن زاوية شدتها تكون أقل من العضلة ذات الرأسين إلا أن كلا العضلتين تتحققان زاوية شد مقدارها 90° لذا فإن مركبات التدوير لهاتين العضلتين تصل إلى 100% من القوة العضلية الكلية لقبض الساعد على العضد ولاختلاف زوايا العضلتين السابقتين فإنه يلاحظ أن العضلة ذات الرأسين تصل إلى زاوية شد قبل 90° مثل العضلة العضدية وبالتالي فإن دورها في التحريك يكون أساسياً ويتبعها العضلة العضدية في استكمال التدوير.

التعريف بحركات المفاصل

يعتبر التعريف بحركات مفاصل الجسم من الموضوعات التي تمثل أهمية كبيرة في فهم أساسيات علم الحركة والميكانيكا الحيوية، باعتبار أن حركة المفاصل هي المدخل الرئيسي للتعرف على عمل العضلات الهيكلية في جميع الحركات التي يقوم بها الإنسان سواء كانت هذه الحركات عامة أو على شكل مهارات رياضية لها شروط أدائها الخاصة.

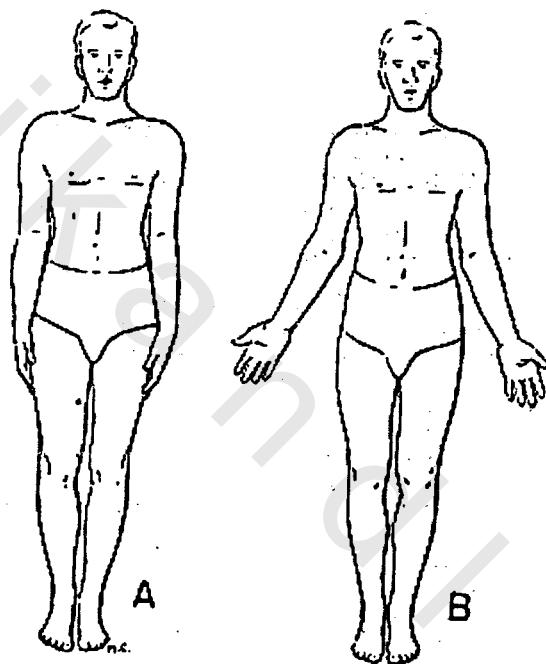
وقد تناول حركات المفاصل العديد من علماء الحركة بوجهات نظر مختلفة، إلا أنها سوف نحاول هنا أن نوضح الأسس التي يجب مراعاتها في التوصيف حتى يكون أكثر تحديداً لكي يسهل استيعابه باعتباره أحد الموضوعات الصعبة في دراسة علم الحركة.

ولكى نقوم بتفسير حركة أى مفصل وتعريفها تعريفاً دقيقاً هناك بعض الأسس التي يجب مراعاتها من أهمها:

- (١) **أوضاع البداية القياسية.**
 - (٢) **الأسطح الفراغية ومحاور الدوران.**
- أولاً : أوضاع البداية القياسية**

قد يستخدم البعض وضع الوقوف العادى كوضع بداية تنسب إليه حركة

أى مفصل فى حين يستخدم البعض الآخر ما يسمى بوضع الوقوف التشريحى . وبغض النظر عن الوضع المستخدم ، فإن وجه الاختلاف الوحيد بين الوضعين هو لف الساعدين للخارج بحيث يكون الكفين مواجهين للأمام فى الوضع التشريحى . وفيما عدا ذلك فهناك تشابه كامل بين الوضعين . ويساعد استخدام هذا الوضع فى تحليل حركات الساعد والأصابع شكل () .



شكل ()

ثاني : الأسطح الفراغية ومحاور الدوران

يتحرك الإنسان في اتجاهات فراغية متباينة تسمى بالأسطح الفراغية المنتظمة وقد اصطلاح على أن تنسب أي حركة لثلاثة أسطح فراغية متعامدة تلتقي عند نقطة أصل هي مركز ثقل الجسم شكل () وهذه الأسطح تقسّم الجسم إلى أجزاء متساوية أو متطابقة على النحو التالي :

أ - السطح السهمي أو الأوسط Medial & Sagittal

وهو يمر بالجسم من الأمام للخلف ويقسمه إلى نصفين (أيمن وأيسر).

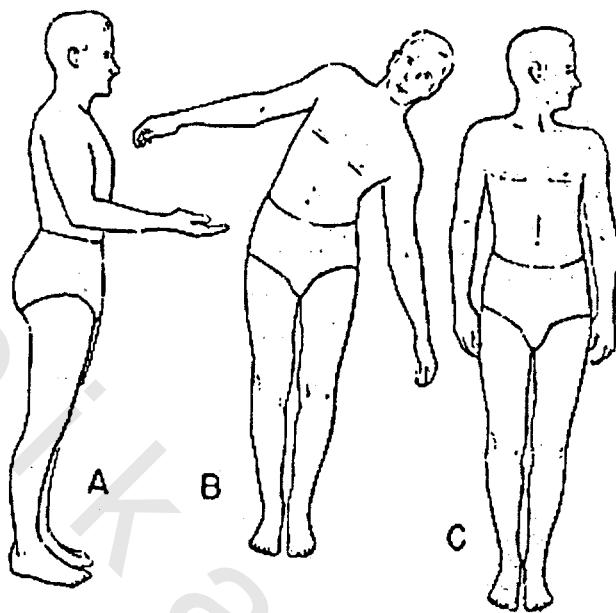
ب - السطح الجانبي أو العمودي Frontal

وهو يمر بالجسم من جهة اليمين إلى جهة اليسار ويقسمه إلى نصفين (أمامي وخلفي).

ج - السطح الأفقي أو المستعرض Transvers

وهو يمر بالجسم في مستوى موازٍ لسطح الأرض ويقسمه إلى نصفين (علوي وسفلي).

وتسمى هذه الأسطح بالأسطح الأصلية لأنها تمر بمركز ثقل الجسم أي أنها تقسمه إلى أنصاف متساوية، وليس بالضرورة أن تكون الأسطح المستخدمة في تحليل حركات المفاصل هي الأسطح الأصلية المقابلة في مركز الثقل الكلى، ولكن من المهم أن يكون معلوماً أن أي حركة من حركات الجسم أو أي جزء من أجزائه تقاد بالنسبة لهذه الأسطح أو ما يفترض من سطح على أي جزء من أجزاء الجسم، فإياء الرأس مثلاً هي حركة تحدث على السطح الفراغي السهمي أو الأوسط الأصلي للجسم ككل في حين تتم حركة قبض الساعد على سطح فراغي موازٍ للسطح الأصلي.



شكل ()

وتتعامد الأسطح الثلاثة عند التقائه، وينشأ عن التقاء كل سطحين فراغيين خط وهما يسمى بالمحور، وهذا المحور إما أن يكون نقطة أو خط تم حوله الحركة الدورانية للمفصل فجميع حركات مفاصل الجسم حركات دورانية تتم حول ما يسمى بمحاور المفاصل باستثناء المفاصل الانزلاقية ومنها المفاصل بين التواءات المستعرضة للفقرات والتي تعتبر حركتها حركات لا محورية.

وإذا تحرك الجسم أو الجزء حول محورها (المحور الناشئ عن التقاء سطحين فراغيين) فإن حركته تكون على السطح الثالث من هذه الأسطح الثلاثة. وهذا يعني أن حركة الجسم حول المحور الناشئ عن تلاقي السطحين الفراغيين السهمي والأمامي تتم على السطح الأفقي.

وهذا يعني وجود ثلاثة محاور دوران أصلية للحركة وهي :

المحور العرضي أو الجانبي : ويدور حوله الجسم للأمام وللخلف (X)

المحور الأمامي أو العميق : ويدور حوله الجسم في اتجاه أحد الجانبين (Z)

المحور الرأسى : ويلف فيه الجسم يميناً أو يساراً .

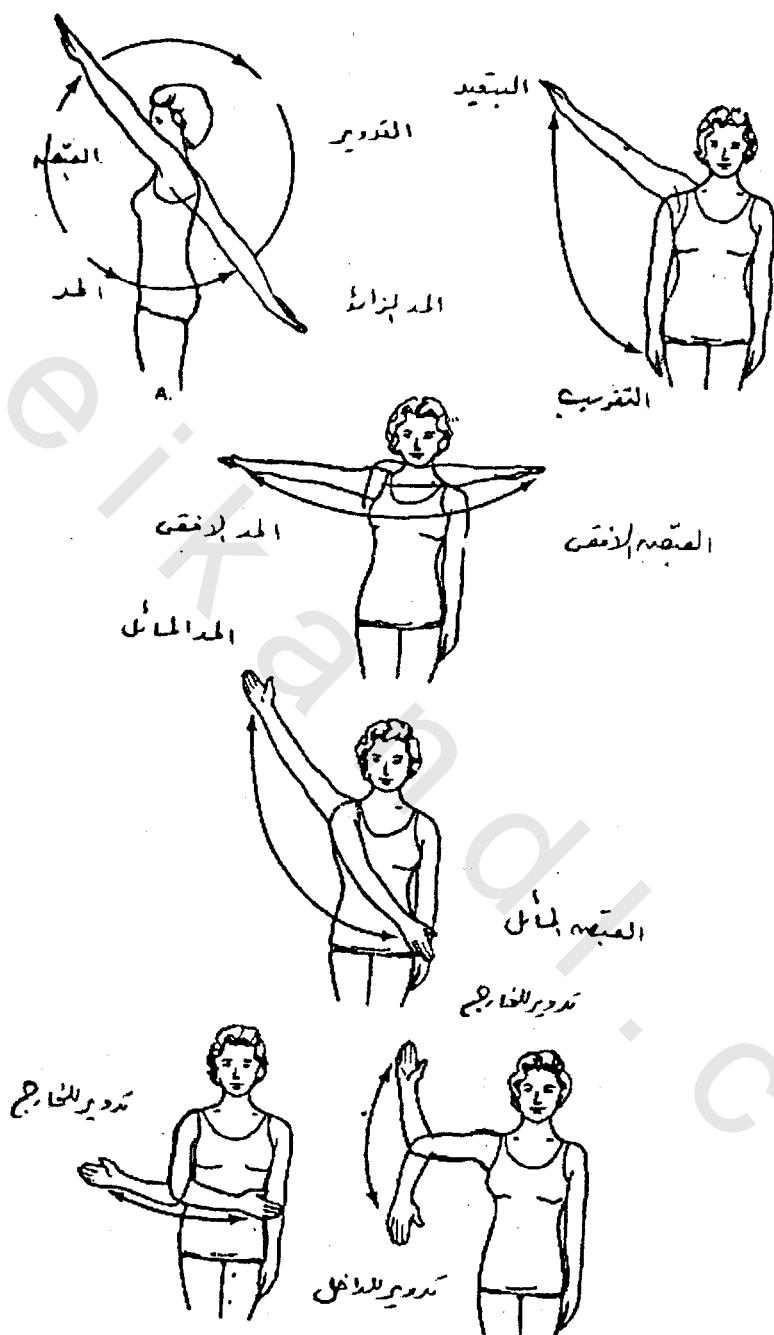
ويمكن إيضاح الحركة على هذه المحاور الثلاثة في تحليل حركة مفصل المرفق (الكوع) في عدة أوضاع :

- * في حالة الوقوف العادي والذراع بجانب الجسم والكف مواجه للخلف فإن قبض المرفق يتم على السطح الجانبي .
- * أما إذا كان الذراع في الوضع أماماً وموازياً للأرض وراحة اليد مواجهة لسطح الأرض فإن قبض المرفق يكون على السطح أو المستوى الأفقي .
- * أما إذا تغير وضع الكف بحيث تكون راحة اليد لأعلى في هذه الحالة يكون القبض على السطح السهمي أو الأوسط .

المفاصل وحدودها الحركية :

مفصل الكتف :

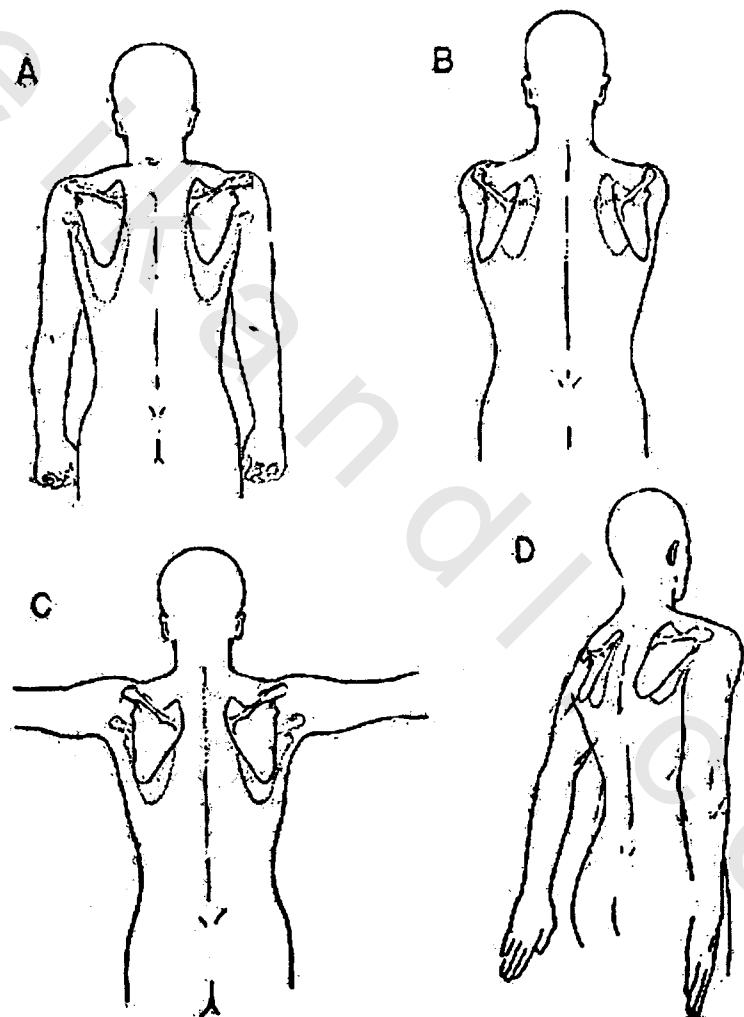
- ١ - القبض والقبض الزائد .
- ٢ - المد أو البسط والمد الزائد أو البسط الزائد .
- ٣ - التقرير والتبعيد .
- ٤ - التدوير للخارج والتدوير للداخل .
- ٥ - القبض الأفقي والبسط الأفقي .
- ٦ - الدوران .



شكل ()

★ حزام الكتف :

- ١ - الرفع والخفض.
- ٢ - التبعيد أو الامتداد.
- ٣ - التقارب أو الانكماش
- ٤ - التحرير لأعلى.



*** مفصل المرفق (الكوع) :**

١ - القبض والمد أو البسط

* مفصل الرزند والكعبرة

١ - الكب والبطح



شكل ()

*** مفصل رسميد :**

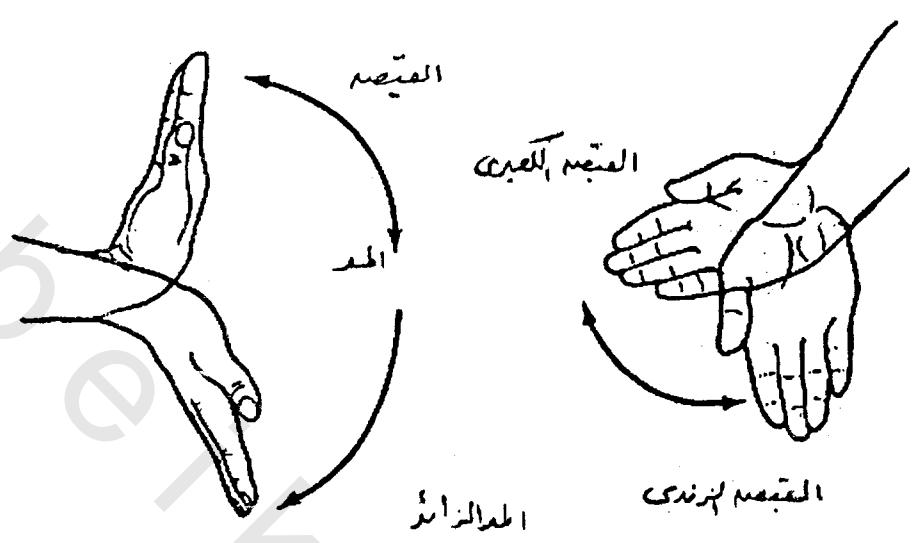
١ - القبض والمد أو البسط

٢ - البسط أو المد الزائد

٣ - القبض الكعبري (التباعد)

٤ - القبض الزندي (التقرير)

٥ - الدوران



★ مفصل إصبع الإبهام :

- ١ - التبعيد
- ٢ - التقريب
- ٣ - التقريب الزائد
- ٤ - المد والمد الزائد
- ٥ - القبض
- ٦ - الدوران
- ٧ - التضاد (الحركة العكسية)

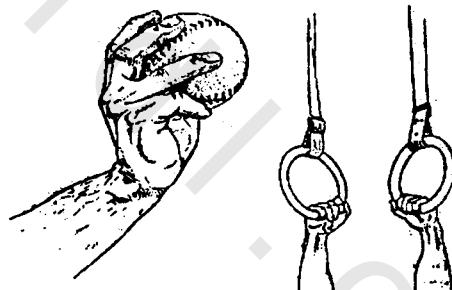
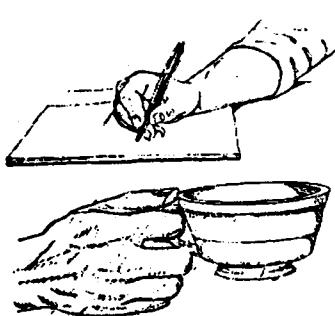
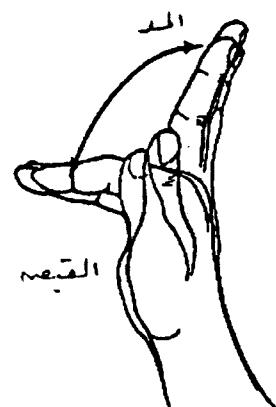


★ المفصل المشطى السلامي للإصبع

- ١ - القبض والمد ٢ - التقريب والتبعد ٣ - الدوران

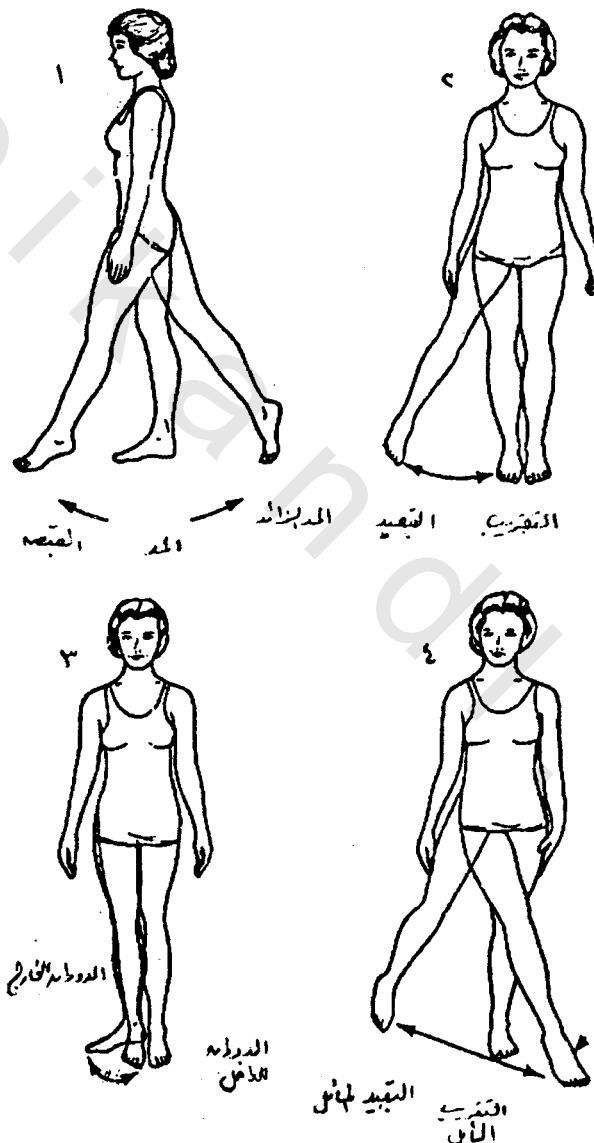
★ المفصل المشطى السلامي للإبهام

- ١ - القبض والمد



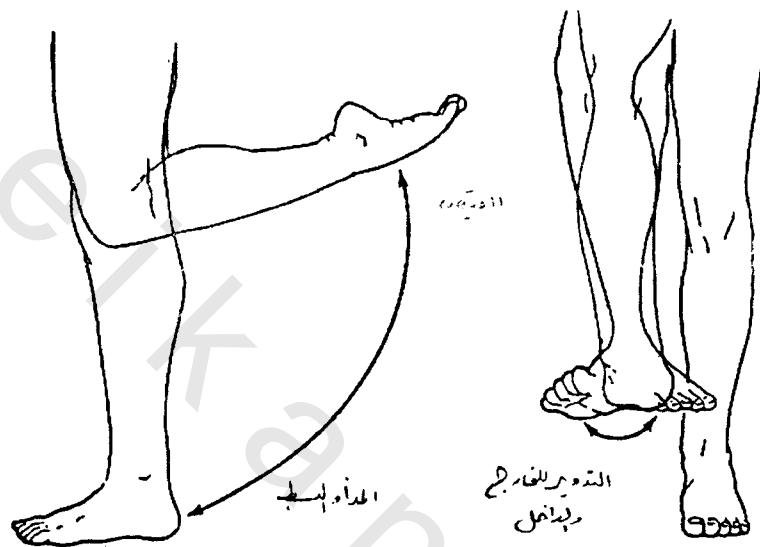
★ مفصل الفخذ :

- ١ - القبض والمد أو البسط
- ٢ - المد الزائد
- ٣ - التقريب والتباعد
- ٤ - اللف للخارج
- ٥ - اللف للداخل
- ٦ - القبض الأفقي والمد الأفقي
- ٧ - الدوران



★ مفصل الركبة :

- ١ - القبض والمد أو البسط
- ٢ - اللف للداخل وللخارج من وضع القبض



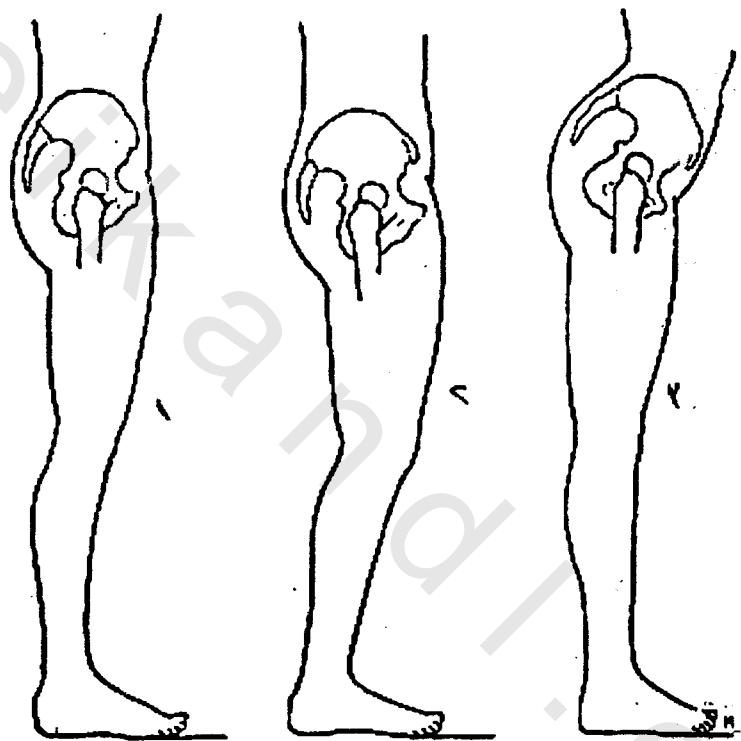
*** مفصل رسم القدم والكاحل :**

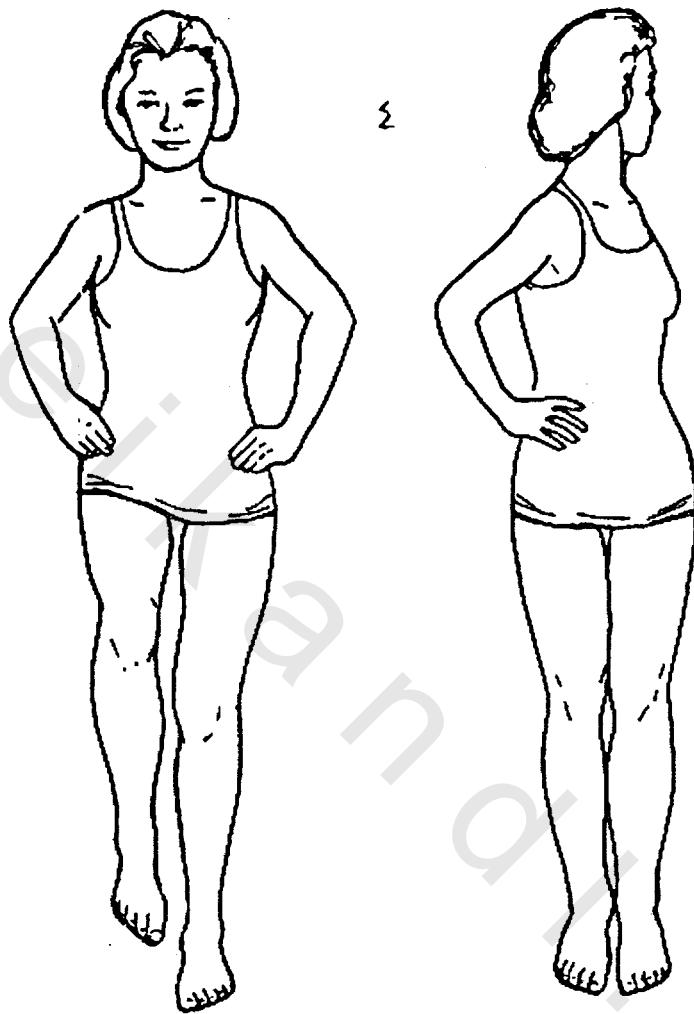
- ١ - القبض في اتجاه الساق
- ٢ - القبض في الاتجاه العكسي (المد)
- ٣ - القلب للداخل
- ٤ - القلب للخارج



★ مفصل حزام الحوض :

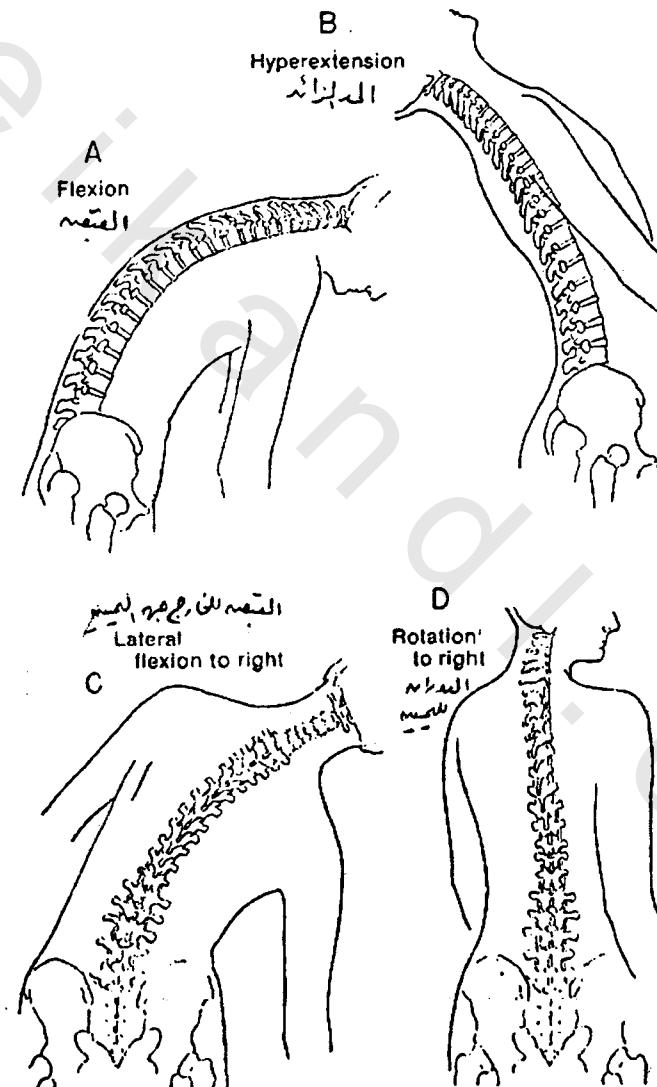
- ١ - اللف للأمام
- ٢ - اللف للخلف
- ٣ - اللف للخارج
- ٤ - الدوران





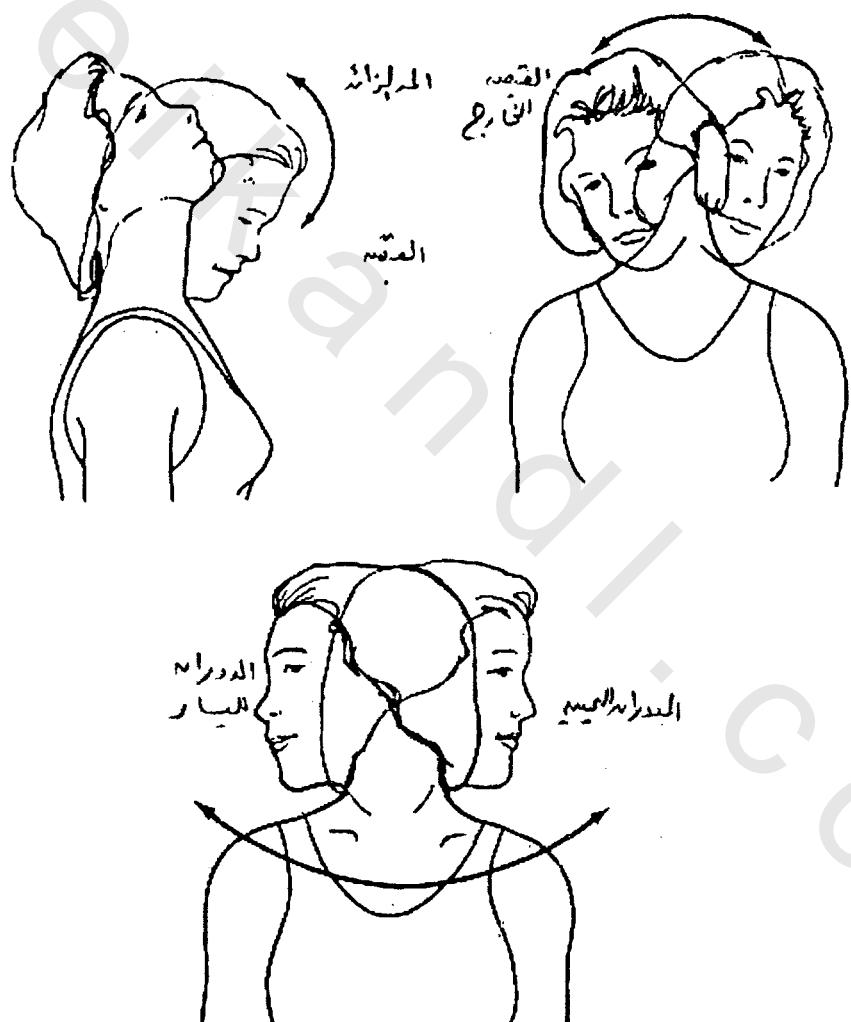
العمود الفقري :

- ١ - القبض والمد أو البسط
- ٢ - المد أو البسط الزائد
- ٣ - القبض للخارج
- ٤ - الدوران



★ فقرات الرقبة :

- ١ - القبض
- ٢ - المد أو البسط الزائد
- ٣ - القبض للخارج
- ٤ - الدوران



التفسير العام لحركات المفاصل :

Flexion القبض ١

وهي حركة عامة تعنى تقريب منشأ العضلة من اندغامها، وهي حركة مشتركة في معظم حركات المفاصل بتقريب الطرف البعيد من المفصل إلى الطرف القريب من المحور الرئيسي للجسم. ويمكن ملاحظتها من على أحد الجانبيين.

Extension المد أو البسط ٢

وهي نكس حركة القبض وتعمل فيها العضلات المضادة لحركة القبض وتشترك في عدد كبير من حركات المفاصل بتبعيد الطرف البعيد من المفصل عن المحور الرئيسي للجسم ويمكن ملاحظتها من على أحد الجانبيين أى أنها تم من وضع الوقوف العادي على المستوى الفراغي السهمي.

Abduction التبعيد ٣

وهي تحريك الطرف بعيداً عن المحور الرئيسي للجسم ولها عدة حالات خاصة، ومن أمثلتها رفع الذراع جانبياً وحركات الطرف السفلي على جانبي الجسم، ويمكن ملاحظتها من الأمام أو الخلف أى أنها تم من وضع الوقوف العادي على المستوى الفراغي الرأسى.

Adduction التقريب ٤

وهي عكس التبعيد وتم بتحريك الطرف في اتجاه المحور الرئيسي للجسم، ولها حالات خاصة أيضاً ويمكن ملاحظتها من الأمام أو الخلف فهي كحركة التبعيد تم على المستوى الفراغي الرأسى.

Diagonal adduction التقريب المائل ٥

وهي حركة الطرف البعيد للمفصل على مستوى مائل يمتد بالمحور الرئيسي

للجسم وللداخل ومن أمثلتها في الطرف العلوي حركات الرمي من أعلى ومن أمثلتها في الطرف السفلي ركل الكرة. ويمكن ملاحظتها من الأمام والخلف.

٦ - التبعيد المائل Diagonal abduction

وهي حركة عكس حركة التقرب المائل حيث يتحرك فيها الطرف البعيد للمفصل على مستوى مائل كحركة الذراع جانباً خلفاً وكذلك حركة الرجل ويمكن ملاحظتها أيضاً من الأمام والخلف.

٧ - الخفض والرفع Depression Elevation

وهذه الحركة تخص حزام الكتف، وهي لا تظهر بوضوح في رفع الورك العادي إلا إذا لوحظت من على أحد الجانبين، حيث يتحرك فيها الكتف لأعلى ولأسفل وتبدو هذه الحركة واضحة عند الارتكاز على جهاز المتوازيين، كما تظهر حركة تعبيرية يستخدمها الأطفال في التعبير عن الرفض أو الاعتراض.

٨ - التقرب والتبعيد الأفقي Horizontal abd. & add.

وهي حركات تقرب وتبعد ولكنها تتم والطرف في وضع أفقي وهي تخص مفصل الكتف والذراع موازٍ لسطح الأرض ويمكن ملاحظتها من أعلى.

٩ - المد أو البسط الزائد Hyperextension

وهي حركة مد تزيد عن المدى الطبيعي لأى مفصل ويمكن ملاحظتها من الجانب.

١٠ - قبض القدم (القبض الأمامي) Dorsiflexion

وهي حركة مميزة لمفصل القدم تتم بتحريك السطح العلوي لمشط القدم، في

اتجاه الساق ومن أمثلتها حركة مشط القدم نحو الساق والركبة مفرودة عند إصابة لاعب كرة القدم بتقلص عضلات خلف الساق ويمكن ملاحظتها من الجانب.

١١ - قبض القدم (القبض الأمامي) Planterflexion

وهي حالة مستثناء من القبض حيث يتم تحريك السطح العلوي للقدم لأسفل كما يحدث في حركات الجمباز والباليه، وهذه الحركة تعتبر مداراً أو بسطاً للقدم، ومعظم حركات الجسم التي تتم من الوقوف سواء بالمشي أو الجري تبدأ أولاً بهذا النوع من القبض كأساس لبدء الحركة.

١٢ - الكب Supination و البطح Pronation

وهما حركتان متضادتان ميزتان للمفصل الزندى الكبيرى فى الساعد ومن أحسن الأمثلة التى توضح هذه الحركة، تغيير وضع راحة اليد حيث توازى عظمتى الزند والكعبرة فى حالة البطح فى حين تتقاطع فى حالة الكب، ومن أمثلتها وضع اليد فى الارتكاز للانبطاح المائل.

١٣ - القبض الزندى والقبض الكبيرى Ulner & Radial flexion

وهي حركة تخص رسم اليد حيث يتحرك فيها كف اليد على جانبي عظام الساعد وعلى نفس المستوى الفراغى ويمكن ملاحظتها من أعلى.

١٤ - الامتداد والانكماش Protraction & Retraction

وهي حركة تخص حزام الكتف وتتم بتدوير الحافة السفلية للوح للخارج في الامتداد وللداخل من الانكماش.

١٥ - القبض للخارج Lateral Flexion

وهي حركة تخص كل من الرقبة والجذع حيث تتحرك فيها الرأس أو الجذع بعيداً عن المحور الرئيسي للجسم. وهي تتم على المستوى الفراغى الرأسى.

١٦ - التضاد أو التعارض Opposition

وهي حركة خاصة بباباهم اليد وتعنى تحرك الإصبع عبر راحة اليد للمس أى إصبع من الأصابع الأربع وهى شائعة الاستخدام فى أنواع القبضات المختلفة.

١٧ - الدوران (لأعلى ولأسفل وللخارج وللداخل)

Rotation (up. dawn. lat. med)

بالنسبة للدوران لأعلى ولأسفل، فهى حركة تخص عظام اللوح وترتبط برفع الذراعين عالياً حيث يدور فيها اللوح ليغير من وضع الحفرة العناية فيرتفع الذراع لأعلى أو يعود بجانب الجسم.

أما الدوران للخارج والداخل وهى حركة العظام حول محورها الطولى بالدوران بعيداً عن المحور الرئيسي للجسم أو فى اتجاهه وهى تظهر فى حركات الرمى والضرب مع أعلى مستوى الكتف.

هذا بالإضافة إلى بعض الحركات التى تفسر عمل كل من الحوض وحزام الحوض والقفص الصدرى لا يتسع المجال لمناقشتها.

إلا أنه نود الإشارة إلى أن هذه الحركات لا تم منفردة ولكنها قد تتدخل فى العديد من حركات الأطراف وأن هذا الشرح التفصيلي جاء ليوضح كل جوانب الحركة لمفاصل الجسم منفردة.

الاتزان والتوازن

تعتبر عملية دراسة المبادئ الأساسية للاتزان والتوازن من الموضوعات التي تمثل أهمية كبيرة في دراسة علم الحركة والميكانيكا الحيوية، حيث تمثل معلومات هذا الموضوع الأساسي في فهم العديد من الموضوعات الأخرى.

فالاتزان هو حالة من عدم التسارع (زيادة العجلة) سواء كان هذا التسارع كمياً أو اتجاهياً وهذه الحالة تميز الأجسام في وضع الثبات، ويطلق عليها اتزان ثابت أو اتزان استاتيكي كما أنها تميز حالة الجسم وهو في حركة منتظمة السرعة ومحددة الاتجاه ويطلق عليها اتزان ديناميكي. لذا فإن مصطلح التوازن في مجال أداء الجسم البشري جاء ليعبر عن إمكانية التحكم الإرادى في الحالة الحركية بحيث يتحقق الاتزان.

فالتوازن عبارة عن مجموعة من الإجراءات الحركية التي يلجأ لها الجسم لتحقيق الاتزان، وللعمل العصبي العضلي هذا بالإضافة إلى المستقبلات الحسية الحركية الدور الأساسي في تحقيق توازن الجسم سواء في ثباته أو حركته.

الاتزان الخطى والاتزان الدورانى :

إن الجسم البشري في حركته التي قد تكون خطية أو دورانية، قادر على

أن يتحقق الاتزان بمفهومه السابق الإشارة إليه، فتحقيق الاتزان في الحركة الخطية، يتم عن طريق تعاون القوى ومجموعها الاتجاهي بحيث تكون مجملتها صفر. كما أن تحقيق الاتزان في الحركة الدورانية يرتبط بإحدى الصور التطبيقية للقوى وهي العزوم بحيث يكون المجموع الاتجاهي كله العزوم متعادلاً أو مساوياً للصفر.

فإن الجسم المتحرك من الممكن أن يكون في حالة من الاتزان الدوراني وعدم الاتزان الخطى وعلى العكس فإنه يمكن أن يكون في حالة اتزان خطى وعدم اتزان دوراني.

فلاعب الجمباز أو الباليه عند أداءه لحركات اللف حول المحور الطولى للجسم، لا يتحرك مركز ثقله حركة خطية وبالتالي يكون في حالة اتزان خطى في حين تلف أجزاء جسمه حول هذا المحور في حركة دورانية غير متزنة. حيث تعمل قوى الاحتكاك بسطح الأرض على عدم انتظام سرعة اللف.

وبصفة عامة، يمكن القول أن جميع حركات الجسم البشري لا يتحقق فيها كلا نوعي الاتزان الخطى والحرکى في آن واحد حيث تغير سرعات أجزاءه الخطية والدورانية من لحظة زمنية إلى أخرى.

فقد يظهر لنا أن العداء يتحرك بسرعة ثابتة في بعض مراحل السباق، إلا أن الدراسة التفصيلية لحركته سوف تؤكد أنه يقع تحت تأثير التغير اللحظى في مقادير القوى المؤثرة فيه وكذلك العزوم الدورانية، فالتأثير المتبادل بين كل من وزن الجسم ورد فعل الأرض كقوة متوجهة يؤدي إلى تغير في السرعة الخطية. كما أن تغيير موضع مركز ثقل الجسم بالنسبة لقدم الارتكاز يعني تأثير قوى الارتكاز بعزم دورانية مختلفة المقدار والاتجاه وبالتالي يعني عدم وجود اتزان دوراني.

الثبات الخطى والثبات الدورانى :

يعنى الثبات، حالة الجسم فى مقاومة حدوث اختلال فى الاتزان، سواء كان ذلك استاتيكيا أو ديناميكيا، بمعنى أنه مقاومة التغير فى الحالة. وترتبط هذه المقاومة بعدة متغيرات من أهمها الخاصية القصورية سواء كانت الكتلة فى الحركة الخطية أو قصور الدوران فى الحركة الدورانية.

فالمبدأ العام الذى يحكم عملية الثبات الخطى، هو أن زيادة ثبات الجسم، ترتبط بقدار كل من القوة وزمن تأثيرها (الدفع الخطى) المطلوب لتحرريك هذا الجسم. فزيادة الخاصية القصورية للجسم فى هذه الحالة (الكتلة) تعنى إمكانية زيادة ثباته الخطى. فتغير حالة حركة لاعب الانزلاق على الجليد يتم من خلال قوة دفعية قليلة المقدار بمقارنتها بما يحتاجه نفس اللاعب لتغيير حالة حركته إذا ما انزلق على أى سطح آخر.

وهذا يعنى أن لاسطح الاتصال وطبيعتها دوراً كبيراً في تحديد مقدار واتجاه قوى الاحتكاك التى تؤثر فى حالة الثبات الخطى.

ولعملية التحكم فى مقدار الثبات الخطى أهمية كبيرة فى نجاح أداء العديد من الأنشطة، فتقليل هذا الثبات إلى أقل درجة ممكنة يساعد فى نجاح أداء حركات الانزلاق بصفة عامة. وهذا يعنى أن الثبات الخطى يعنى الميل للانزلاق بين أسطح اتصال الجسم والأجسام الأخرى.

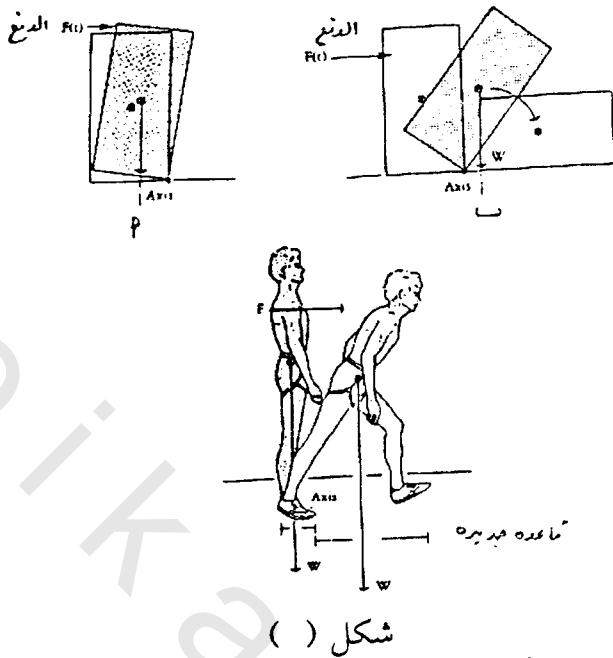
وبهذا المفهوم فإن الثبات الدورانى يعنى مقاومة الجسم لفقدان الاتزان إذا ما تعرض إلى مؤثر دورانى كالعزم.

إذا حاولنا دفع صندوق وهو موضوع على أحد جانبيه فسوف يدور حتى يستقر على جانبه المقابل. ويتم الدوران حول المحور المار بحافته المتصلة بسطح الأرض والتى تربط بين السطحين شكل (). وهذا الدفع سوف يساعد على وصول الصندوق إلى الوضع الذى تبدأ فيه الجاذبية الأرضية فى

التأثير عليه بعزم جديد يستكمل دورانه بعيداً عن الوضع الذي كان متوازناً فيه، أما إذا كان مقدار الدفع المستخدم غير كاف للوصول بالصندوق إلى الارتكاز على حافته، فسوف تعمل الجاذبية الأرضية على دورانه أيضاً ولكن في هذه الحالة سوف يكون الدوران في اتجاه إعادة الصندوق إلى وضعه الأصلي.

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

أما إذا لم يكن هناك عزم مضاد شكل () كما هو الحال عند دفع شخص من الخلف وهو في وضع الوقوف فسوف يدور جسمه حول محور يصنعه القدم مع سطح الأرض ليسقط أماماً أسفل، لذا فإنه يلاحظ أن هذا الشخص سوف يقوم بأخذ خطوة للأمام بمجرد فقدانه للتوازن، وسوف تساعد هذه الخطوة في إيقاف تأثير عزم الجاذبية الأرضية على مركز ثقله وبالتالي منع سقوطه بخلق قاعدة ارتكاز جديدة.



شكل ()

وبمقارنة الحالتين السابقتين، فإنه يمكن التعرف على الفروق الأساسية في الثبات المرتبط بالخصوصية القصورية بين الأجسام الحية وغير الحية، أى بمعنى التعرف على الفروق في حالة الثبات بين الإنسان وأى جسم آخر، فالإنسان قادر على تحريك أو إعادة تشكيل علاقة أجزاء الجسم بعضها ببعض للمحافظة على الثبات الدوراني عن طريق تغيير موضع خط الثقل بالنسبة لقاعدة الارتكاز أو تغيير قاعدة الارتكاز نفسها. وفي الأنشطة التي يتم فيها رفع أثقال معينة فإن الجسم سوف يتزن إذا مر خط جاذبيه خلال جزء من قاعدة الارتكاز. وقاعدة ارتكاز الجسم تحتاج إلى تحديد دقيق حتى تفهم دورها في الاتزان. فهى ذلك الجزء أو المساحة من سطح الجسم التي تتصل بشكل مباشر بسطح الأرض أو سطح أى جسم آخر ويتيح بينهما رد فعل لوزن الجسم، فحدود القدمين هى حدود قاعدة الارتكاز في حالة الوقوف.

ويوضح شكل () أوضاع اتزان ناتجة عن قوى رأسية دافعة، ويلاحظ أن مساحة قاعدة الارتكاز تحدّد بالخطوط الخارجية لمنطقة اتصال الجسم بأى أجسام أخرى.

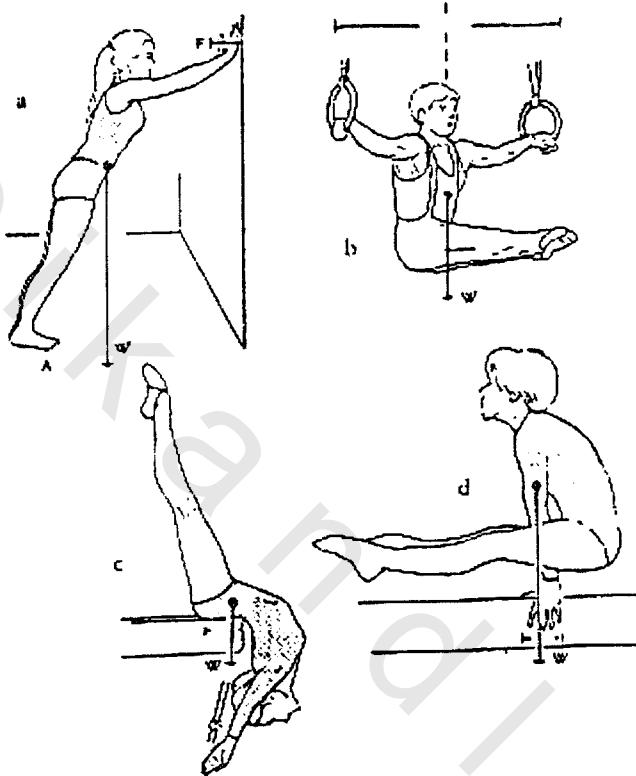
الاتزان الثابت وغير الثابت والمتعادل :

وتحاله الاتزان الدوراني لأى جسم يمكن تقسيمه إلى ثلاثة أشكال هي الاتزان الثابت وغير الثابت والمتعادل أو المستقر. وتلعب الخصائص الفيزيقية وطبيعة قاعدة الارتكاز الدور الرئيسي في تحديد حالة الجسم من حيث الاحتفاظ بالتوازن أو فقده، ويوضح شكل () نماذج لهذه الحالات الثلاث.

فالجسم الذى يكون فى حالة اتزان مستقر، يحتاج إلى مقدار كبير من الدفع الزاوي لإخلال اتزانه أو تغيير حالته عما هو الحال فى الجسم المترن اتزاناً غير مستقر، ونظراً إلى عدم وجود ميل للسقوط بالنسبة للكرة فى حركتها على مستوى أفقي بطريقة أو بأخرى، فإن حالة مركز ثقلها يمكن أن يطلق عليها حالة الاتزان المتعادل أو المستقر، حيث أنه يستمر دائماً عمودياً على قاعدة ارتكاز الكرة مهما تحركت على هذا السطح، أما عندما يميل السطح فإن الكرة سوف تسقط فى اتجاه الميل لأسفل لأن خط الجاذبية سوف يمر أمام قاعدة ارتكازها على السطح، فتأثر الكرة بعزم دوران تغيير من حالة اتزانها.

ويمكن التعبير عن هذه الحالات الثلاث فى أوضاع كثيرة يتخذها الجسم فى أدائه للأنشطة البدنية المختلفة، فدرجة الاتزان الدوراني للجسم لها خاصية الاتجاه كما أنها تتأثر بأى عزوم خارجية، وخاصية الاتجاه تعنى أن الجسم من الممكن أن يكون فى حالة اتزان دورانى بالنسبة لاتجاه محدد، أو أنه مقاوم للدوران فى اتجاه معين، وليس بالضرورة أن تكون مقاومته للدوران فى الاتجاه

الأخر أيضاً فإطار السيارة من الممكن أن يكون ثابتاً في الاتجاهين الأمامي أو الخلفي ولكنه غير ذلك بالنسبة لسقوطه على أحد الجانبين أى أنه في حالة اتزان دورانى في اتجاه وأن هذه الحالة غير ثابتة في الاتجاه الآخر.

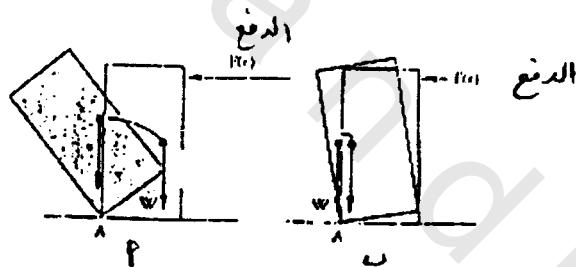


شكل ()

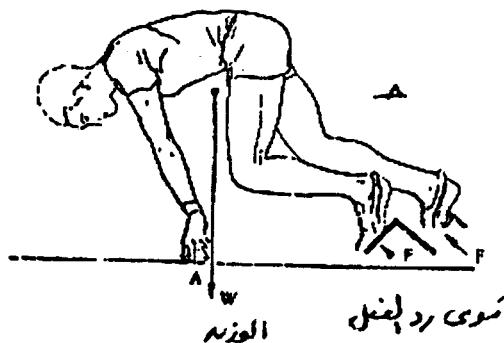
وفي الحالات التي تكون فيها الجاذبية الأرضية ورد فعل الأرض هي القوى الوحيدة المؤثرة في الجسم الثابت بحيث يحدث التوازن عندما يمر خط عمل الجاذبية عمودياً لأسفل بقاعدة الارتكاز. والأساس الميكانيكي لهذه الحالة هو تعادل كل من الجاذبية وعزم رد فعل الأرض المؤثرين في الجسم.

أما الحالات التي تظهر فيها مؤثرات خارجية غير الجاذبية ورد الفعل فإن التوازن سوف يختل جزئياً أو كلياً، وفقاً لمقدار هذه المؤثرات واتجاهاتها (عزم خارجي).

وفقدان الثبات الدوراني، لجسم له قاعدة ارتكاز كبيرة يمكن أن يحدث في ضوء موضع خط الثقل بالنسبة لحدود هذه القاعدة. فإذا كان العزم الخارجي كافياً لكي يحدث كمية حركة دورانية في الصندوق شكل () وبحيث يتحرك مركز ثقل الصندوق أعلى وخارج حافة قاعدة الارتكاز، وبحيث يمر خط الثقل قريباً من هذه الحافة، والتي سوف تمثل في هذه الحالة محوراً للدوران فإن اسقاط هذا الصندوق على أحد جانبيه سوف يحتاج إلى دفعه بسيطة.



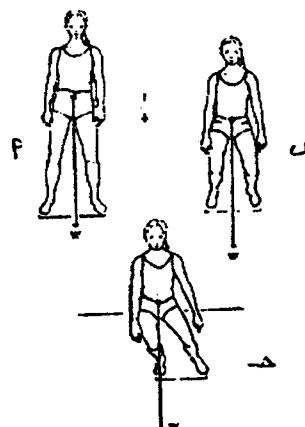
شكل ()



شكل ()

ويوضح شكل () أحد العدائين في وضع البداية، ويلاحظ أن خط الثقل سوف يسبب دورانًا في اتجاه عقارب الساعة حول محور يمر باليدين، وأن رد فعل الأرض الممثل في القدمين على مكعب البدء، سوف يحدث دورانًا في اتجاه عكس عقارب الساعة حول نفس المحور، وكل من هذين العزمين يتعادلان في حالة الثبات، ويكون الجسم في حالة اتزان. أما عندما يستعد اللاعب للانطلاق فإنه يقوم بتحريك خط الثقل أماماً ليمر بمحور الدوران الممثل في اليدين، وهنا يكون اللاعب في حالة تسمح بأن يدفع مكعب البدء بأقل قدر من القوة لكي يبدأ في الدوران عكس عقارب الساعة، أى في الانطلاق عن طريق توالى الخطوات وفي نفس الوقت فإن كسر الاتصال بين اليدين وسطح الأرض سوف يؤدي إلى تقليل مساحة قاعدة الارتكاز بالشكل الذى يجعل من قوة الوزن أساساً لعزم يكون في نفس اتجاه عزم رد فعل الرجلين.

وكلما انخفض مكان مركز ثقل الجسم زادت قدرة الجسم على الثبات مع ثبات باقى التغيرات ويوضح شكل () الفرق بين ارتفاعين لمركز ثقل الجسم بالنسبة لقاعدة الارتكاز.



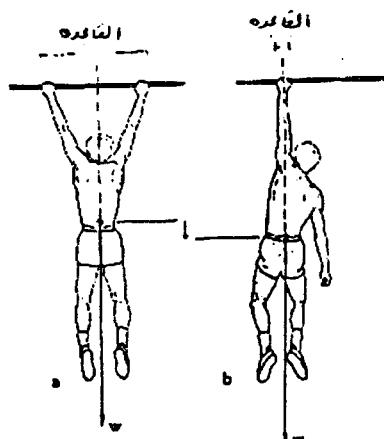
شكل ()

ما سبق يتضح لنا أن دراسة الثبات في حركات الجسم البشري يجب أن تتناول كافة التغيرات الاستاتيكية المرتبطة به حتى يتحقق أهميته في الناحية التعليمية والتدريبية.

الثبات الدوراني أثناء التعلق :

يمكن دراسة الثبات الدوراني في التعلق، من خلال حساب قاعدة الارتكاز التي تمثل في أماكن القبض باليدين والمسافة بينهما (أو المساحة بينهما) عن طريق استخدام مفهوم العزوم وكمية الحركة الزاوية وخط الثقل بالنسبة لقاعدة الارتكاز.

فالجسم في حالة التعلق يتخد الوضع الذي يجعل مركز ثقله يقع في أبعد نقطة بالنسبة لقاعدة الارتكاز نتيجة لتأثير الجاذبية الأرضية ويوضح شكل () أنه عند التعلق بيد واحدة فإن الجسم سوف يدور في المستوى الرأسى تحت تأثير عزم الوزن حتى يصل مركز ثقله إلى وضع أكثر بعداً عن الوضع السابق، أي أن نقص مساحة قاعدة الارتكاز أدى إلى زيادة بعد مركز ثقل الجسم عن هذه القاعدة وبالتالي قلل من اتزانه الثابت في حالة التعلق فقط كما أنه قلل من اتزانه الدوراني في حالة الحركة.



شكل ()

تحليل أداء التوازن :

يساعد الإمام بالعوامل الميكانيكية والعلاقات التي تربطها في دراسة التوازن وخاصة في الأداءات التي يدخل فيها الاحتفاظ بالتوازن كشرط أساسي لنجاحها وهذه العوامل تمثل في :

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

وسوف نتناول بعد ذلك التوازن الثابت والميكانيكي (المتحرك) ودور كل من هذه العوامل الميكانيكية في عدد من الأنشطة.

الاحتفاظ بالتوازن في الأوضاع الثابتة :

عندما يكون الجسم في حالة توازن ثابت فإن هذه الحالة يسهل تحليلها عما هو الحال عليه في حالة الحركة حيث يستمر تغيير هذه العوامل بشكل متواصل أثناء حركته. لذا فإنه يجب الأخذ في الاعتبار بجميع أوضاع أجزاء الجسم.

فبمجرد أن يصل الجسم إلى وضع ثابت فإن اختلال التوازن يأتي نتيجة لحركة أي جزء من أجزائه وأن بقاء الجسم في حالة الثبات تأتي نتيجة أن محصلة العزوم المؤثرة فيه تكون صفراء.

وبالنظر لوضع الوقوف العادى، فسوف نلاحظ أن هناك عمليات مستمرة يقوم بها الجهاز العصبى العضلى لإبقاء مركز ثقل الجسم داخل حدود قاعدة الارتكاز وكلما قلت مساحة القاعدة كالوقوف على الأمشاط أو على قدم واحدة زادت هذه العمليات الحيوية بهدف الاحتفاظ بالتوازن.

فإثارة العضلات المادة عن طريق الضغط الناتج على باطن القدم يجعل هذه العضلات فى حالة عمل متناوب، ونظراً إلى أن عمل هذه العضلات بهذا الأسلوب هو منع انقباض الطرف الس资料ى تحت تأثير القوة الناتجة عن وزن الجسم، فقد سميت هذه العضلات بالعضلات المضادة للجاذبية، وعندما يميل الجسم للأمام فإن خط الثقل سوف يتحرك في اتجاه الحافة الأمامية لقاعدة الارتكاز (أطراف الأصابع) وسوف يؤدي ذلك إلى حدوث ضغط على هذه الأطراف، وفي نفس الوقت إطالة للعضلات الباسطة للقدم (القبض الأخmensى أو الأمامى) وعندما تطول هذه العضلات إلى حد معين تستثار المستقبلات الحسية لإحداث رد فعل منعكس يتمثل في انقباض هذه العضلات لإعادة الجسم (تدوير الجسم للخلف) إلى وضعه الأصلى. فيعود خط الثقل مرة أخرى للخلف، ونظراً إلى أن خط الثقل في وضع الوقوف العادى يكون أقرب ما يكون لمفصل القدم، فإن عودة مركز ثقل الجسم إلى وضعه الطبيعي قد تكون بعمر أكبر مما هو مطلوب. فنطول العضلات القابضة للقدم مما يؤدي إلى عودة انقباضها كرد فعل عكسي للحالة السابقة فتمنع جزءاً من هذا المقدار الزائد في حركة خط الثقل، وهكذا تستمر العضلات القابضة والباسطة لمفصل القدم في تناوب العمل أثناء الوقوف للمحافظة على هذا الوضع. وقد اصطلاح على تسمية هذه الحالة بالسيطرة القوامية. وهذه الحالة من السيطرة تتأثر بالكثير من العوامل. فهى تزيد من حدتها عندما يحجب البصر أو السمع أو الاثنين معًا. هذا بالإضافة إلى ارتفاع حدتها عند الانتقال من وضع الرقود إلى الوقوف مباشرة. كما تزيد في حالات إصابة الأذن الوسطى،

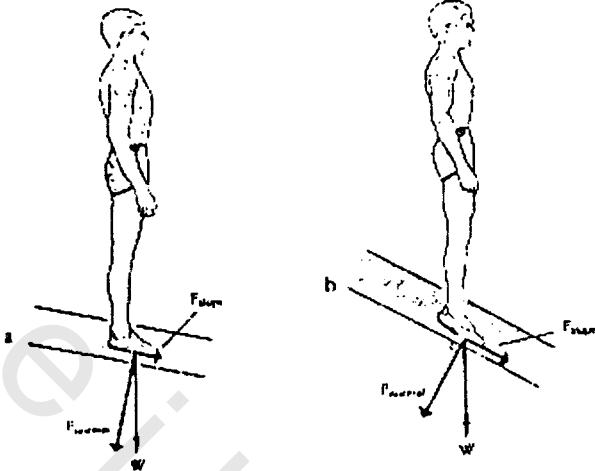
ومع زيادة هذه الحالة تبدأ أجزاء أخرى من الجسم في المشاركة في هذه السيطرة.

وفي معظم الأنشطة التي تؤدي على سطح الأرض يكون كل من وزن الجسم ورد فعل الأرض مصدراً للقوى الطبيعية المؤثرة في القوام (حالة الوقوف العادي) وهي تؤكد أن انزلاق الجسم أو إخلال توازنه يحتاج إلى قدر كبير من الدفع الدوراني للتغلب على قوى الاحتكاك بأحداث هذا الانزلاق، إلا أن ميل سطح الأرض سوف يؤدي إلى تغيير هذه العلاقة بين قوى الوزن ورد الفعل بشكل واضح حيث توضح الحالتان في شكل () الفرق بين مركبات القوى باختلاف درجة ميل سطح الأرض، وسوف يؤدي الميل إلى حدوث تغيير في شكل القوى على النحو التالي:

١ - تتناقص قوى الاحتكاك نتيجة لانخفاض قيمة قوى الوزن في اتجاه الكعب.

٢ - مركبة وزن الجسم في اتجاه الكعب سوف تزيد بشكل ملحوظ، فتصبح بذلك قوة أكبر في اتجاه الانزلاق للأمام. وعندما تتحطم قوة الاحتكاك الناتجة عن سطح الأرض بفعل تحرك خط الثقل في اتجاه أبعد عن الكعب سوف يبدأ الجسم في الانزلاق.

أما إذا احتفظ الفرد بمركز ثقله عمودياً على قاعدة الارتكاز فإن الجسم سوف يتزلق في اتجاه ميل السطح دون أن يدور، وعن طريق الميل للخلف (في اتجاه الكعب) فإن ذلك سوف يؤدي إلى انزلاق الرجل، ولكن مع دوران الجسم خلفاً حيث إن خروج خط الثقل عن حافة الكعب يعني عدم وجود الضغط الكافي على هذه المنطقة، وبالتالي تتناقص قوى الاحتكاك فتزلق القدم أماماً ويدور الجسم ليسقط خلفاً.



شكل ()

الاحتفاظ بالتوازن أثناء الحركة :

نظرًا إلى أن الجسم البشري كغيره من الأجسام يتأثر بقوانين البيئة المحيطة به، ونظرًا إلى القدرات الخاصة لهذا الجسم من حيث إنه سيسلك أنماطًا حركية تختلف عما هو الحال بالنسبة للأجسام الأخرى.

فإن الجسم البشري قادر على تحريك أطرافه بحرية وبشكل إرادى، وبالتالي فهو قادر على إعادة تشكيل كتلة الجسم وتغيير موضعها. والأكثر من ذلك فنحن قادرون على تغيير قاعدة ارتكازنا من لحظة لأخرى للتحكم في توازن أجسامنا. وأى حركة مفاجئة أو زيادة في سرعة أى جزء من أجزاء الجسم تحدث نتيجة لأى توترات خارجية تسبب رد فعل عكسي يمنع اختلال التوازن وسوف نتناول فيما يلى أنماط الاحتفاظ بالتوازن خلال الحركة.

الاحتفاظ بالتوازن أثناء بذل أو استقبال قوة :

عندما تؤثر أى قوة في جسم ما ولتكن جزءاً من أجزاء الجسم البشري فإن رد فعل هذه القوة يؤخذ في الاعتبار، فإذا كان رد الفعل بهدف سند

الجسم ثم زال فجأة فإن ذلك سوف يؤدي إلى فقدان التوازن، وفي إحدى الحالات المعروفة التي تفسر ما يحدث عندما تقوم بفتح باب ثقيل في نفس الوقت يكون شخص آخر على الجانب الآخر من الباب ويحاول فتحه في نفس التوقيت، فيؤدي ذلك إلى سقوط الشخص الذي يقوم بدفع الباب.

والقاعدة العامة التي تحكم الاحتفاظ بالتوازن أثناء بذل أو استقبال قوة أفقية هي أن قاعدة ارتكاز الجسم يجب أن تزيد في المستوى الأفقي وفي اتجاه القوة المؤثرة (بذل أو استقبال)، وهذه القاعدة تطبق في جميع الحالات التي يكون فيها للقوة مركبة أفقية، فإذا كانت القوة تؤثر بشكل أفقي فإن كيفية وضع الأقدام للاستعداد لدفع جسم ثقيل للأمام تمثل أهمية كبيرة في ذلك، ومع وجود القدمين على خط واحد (أمامي خلفي) فإن الشخص يستطيع أن يتبع الحركة الناتجة عن الدفع بخطوات أمامية متتابعة، هذا بالإضافة إلى إمكان الدفع في الاتجاه المطلوب، أما عندما يحاول الشخص دفع جسم ما من الجهة اليمنى فإن وضع القدم الأمامية للخارج قليلاً في الاتجاه المضاد للدفع سوف يساعد على الاحتفاظ بخط القلم داخل حدود القاعدة وتساعد على إمكان الاحتفاظ بالتوازن بشكل أفضل.

وعند رمي الكرة أو أي أداة، فإن القدم الأمامية يجب أن تتحرك في اتجاه حركة الجسم، لكن تؤدي إلى ظهور قاعدة ارتكاز جديدة لمركز ثقل الجسم الذي يتحرك للأمام أثناء الرمي والتابعة، وفي حالة الاستقبال كاستقبال الكرات أو أي أدوات أخرى فغالباً ما تكون هذه الأدوات ذات أوزان ليس لها تأثير فعال في إخلال حالة التوازن، وعلى الرغم من ذلك فإن خلق قاعدة ارتكاز كبيرة في اتجاه يضاد حركة الكرة أو الأداة، سوف يساعد على سهولة الاستقبال وامتصاص حركة هذه الأداة دون إخلال التوازن.

أما إذا كان المطلوب هو الإرسال فور استقبال الأداة كما هو الحال في الاستلام والتمرير السريع في كرة السلة، فإن اختيار قاعدة الارتكاز المناسبة،

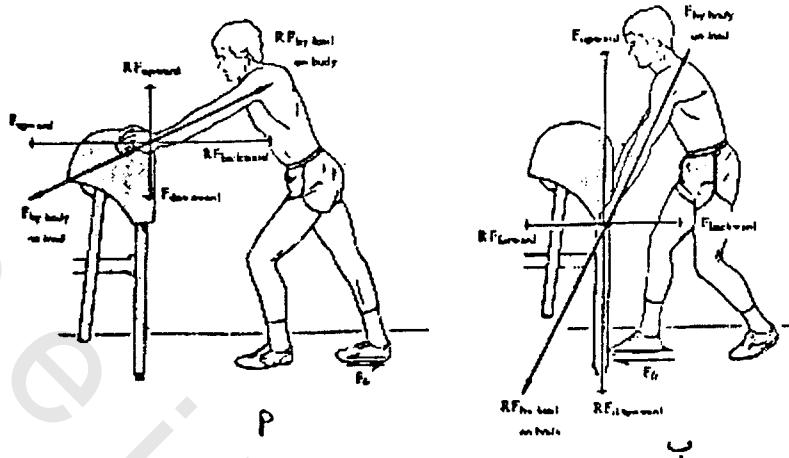
أى بمعنى وضع الاستعداد لاستقبال الكرة أو الأداة سوف يساهم إلى حد كبير في حرية أطراف الجسم في تمرير الكرة أو الأداة في الاتجاه المطلوب.

الاحتفاظ بالتوازن أثناء الشد أو الدفع :

عند محاولة تحريك أجسام ثقيلة على أحد الأسطح فإنه يمكن تقليل القوى المقاومة للحركة عن طريق الاحتكاك بدرجات الجسم أو تحميلاه على عجلات، أما عندما لا يصح استخدام هذه الطريقة لأسباب ترتبط بالجسم المراد تحريكه، فإن اتجاه القوة المستخدمة في الدفع أو الشد يمكن أن يحدد بشكل كبير مقدار مقاومة الاحتكاك، التي تمثل مصدر الصعوبة في إتمام هذه المهمة.

فكمما سبق أن أشرنا، أنه يمكن تحليل أي قوة إلى مكوناتها الرئيسية والأفقية، وأن أيّاً من المركبتين يزيد أو يقل على حساب المركبة الأخرى في حدود قيمة القوة الأصلية، ونظرًا إلى أن قوى الاحتكاك تتناسب طرديًا مع قوة الضغط بين الجسم وسطح الأرض فإن الاحتكاك يقاوم المكونة أو المركبة الأفقية من الشد أو الدفع، والذي قد يزيد أو يقل في ضوء هذه المركبة.

ويوضح شكل () أنه عندما نحاول دفع جسم للأمام، ولأسفل، فإن رد فعل الأرض لهذه القوة سوف يؤدي إلى فقدان الاحتكاك بين القدمين وسطح الأرض مما يؤدي إلى صعوبة تحريك الجسم بسبب انخفاض قيمة الاحتكاك بين القدمين وسطح الأرض، وفي نفس الوقت يزيد من قوى احتكاك الجسم بسطح الأرض ، وبالتالي سهولة انزلاق القدمين دون أن يتحرك الجسم.

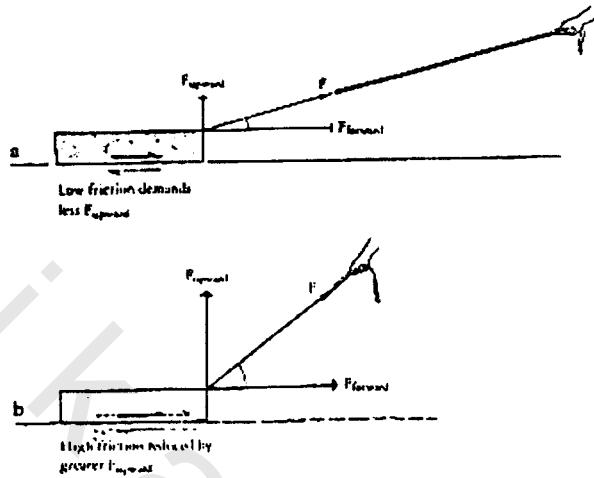


شكل ()

وعند محاولة تحريك الجسم عن طريق الشد، فإن رد فعل وزن الجسم لأسفل سوف يؤدي إلى زيادة مقدار احتكاك التدمين بسطح الأرض، كلما زاد مقدار مركبة الشد الرأسية، في حين يقل احتكاك الجسم المراد شده فيسهل تحريكه.

ويوضح شكل () استخدام حبل طويل في سحب جسم لتقليل مقاومة الاحتكاك في ضوء ما سبق شرحه، وكيف أن طول الحبل سوف يؤثر على تحديد مقدار الاحتكاك الناتج عند السحب بين الجسم وسطح الأرض، وب مجرد أن يبدأ الجسم في الانزلاق تقل قوى الاحتكاك الاستاتيكي التي تكون في أعلى قيمها في اللحظة السابقة لبدء الانزلاق، وتناقص مقدار الاحتكاك الاستاتيكي يعني بذل قوة أقل في الاحتفاظ بسرعة الجسم المتحرك، وبالإضافة إلى ذلك، فإن توافر القوة للاحتفاظ بهذه السرعة في جسم يتحرك أصلاً تقل كثيراً مما يجب أن تكون عليه لحظة بدء الحركة، ويدو ذلك

واضحًا عند دفع سيارة ثابتة أو استمرار دفعها بعد أن تبدأ الحركة. وإعداد قاعدة ارتكاز مناسبة (تتخذ نفس اتجاه الحركة) يمثل أهمية كبيرة في الاحفاظ بتوزن الجسم وخاصة عندما نحاول تحريك جسم ما بشكل مفاجئ.

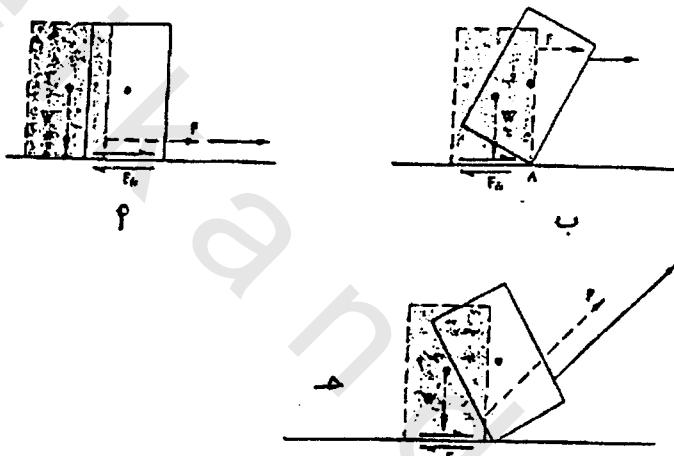


شكل ()

ولكل من نقطة التأثير وخط عمل قوة الشد أو الدفع أهمية كبيرة في الحركة النهائية لأى جسم يراد تحريكه، حيث يوضح الشكل السابق أنه عندما يكون وزن الجسم قليلاً نسبياً فإن تأثير هذا الوزن على سطح الأرض سوف ينتج مقداراً قليلاً من الاحتكاك. وبالتالي سوف يسهل سحب الجسم أو دفعه، وأن الخاصية القصورية للجسم هي المقاومة الوحيدة، وهذه الحالات لا تحدث في الحياة العملية بنسبة كبيرة إلا إذا كان السطح الذي يتحرك عليه الجسم (ثلج - زيت . . . - شمع).

وبما أن الاحتكاك ضد قاعدة الجسم المراد تحريكه، وكذلك الدفع أو الشد المؤثر فيه سوف يمثلان عزماً يسبب دوراناً يحل محل الانزلاق، فإن زيادة هذا المقدار من الاحتكاك أو وجود أي عائق على السطح سوف يؤديان إلى ميل

الجسم للدوران أكثر من ميله للانزلاق، وإذا تم الدفع أو الشد من خلال نقطة تأثير منخفضة نسبياً، فسوف يؤدي ذلك إلى تقليل العزم الناتج عن هذه القوة، وبالتالي تقليل ميل الجسم للدوران وزيادة ميله للانزلاق، ويوضح شكل () التأثير على الجسم بقوة أفقية في مستوى منخفض على جسم له مقدار كبير من الاحتكاك بسطح الأرض وكيفية تأثير هذه القوة في إحداث الانزلاق أكثر من إحداثها للدوران، وكذلك كيف يمكن أن تؤثر قوة أقل في نقطة تأثير أعلى فتسبب دوران الجسم.



شكل ()

وكلما زاد ارتفاع نقطة تأثير القوة فإن ذلك يعني زيادة طول ذراع عزتها، وبالتالي زيادة مقدار العزم الناتج عنها، أي يعني أن استخدام قوة ذات مقدار منخفض من الممكن أن يؤدي إلى دوران الجسم عندما تؤثر هذه القوة في مستوى عال من الجسم وبحيث يزيد عزتها عن العزم الناتج عن وزن الجسم، وهذه القوة سوف لا تؤدي بأى حال من الأحوال إلى انزلاق الجسم ولكنها سوف تؤدي إلى دورانه.

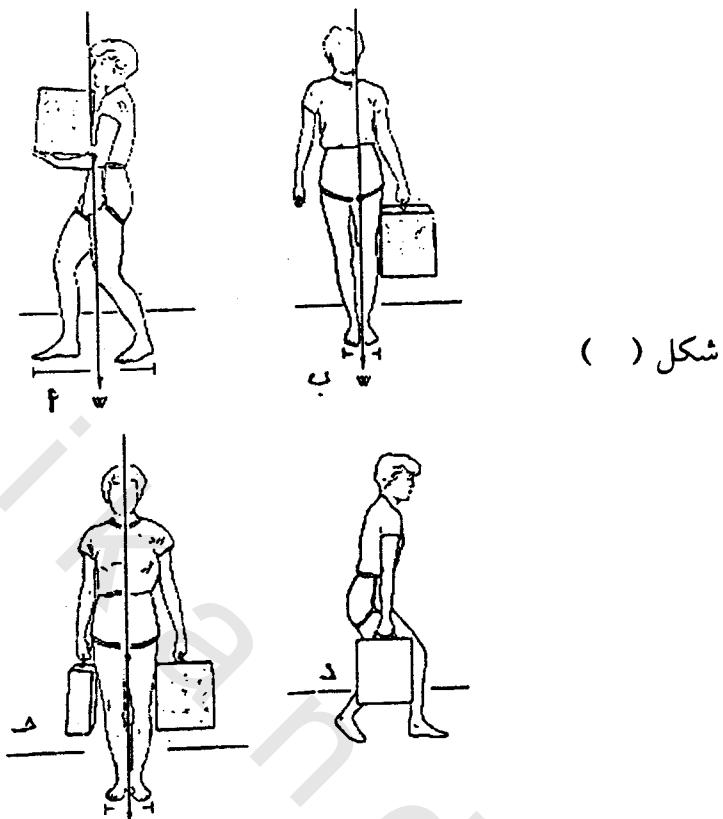
وفي رياضة المصارعة والجودو وفنون القتال العسكري يمثل كل من خط عمل القوة ونقطة تأثيرها بالنسبة لقاعدة ارتكاز الخصم ومكان مركز ثقل جسمه العوامل الأولية في إخلال توازنه وهو الهدف الأساسي لهذه الرياضات.

وفي الغالب يسهل تحريك الأجسام عن طريق تدويرها (دحرجتها) أسهل من انزلاقها وخاصة عندما يحدث ذلك على سطح تسبب قوى احتكاك كبيرة.

وللحكم في مسارات الأجسام المتحركة نتيجة للشد أو الدفع فمن المفضل أن يكون تأثير القوة من خلال نقطتي اتصال وعلى مسافة أفقية مناسبة بينهما، حيث يساعد ذلك في التغلب على الاحتكاك غير المنتظم بين الجسم المتحرك وسطح الأرض، والذي يؤثر على مقاومة انزلاق الجسم عن طريق التحكم في مقادير القوى المبذولة على كلتا النقطتين.

الاحتفاظ بالتوازن أثناء الرفع والحمل :

عند رفع أو حمل أي ثقل فإنه يصبح جزءاً من كتلة الجسم نفسه، وبالتالي فإنه سوف يشارك في تغيير موضع مركز ثقل الجسم، وفي هذه الحالة لكي يحقق الجسم حالة التوازن فإن إعادة تشكيل قاعدة ارتكاز ذات مواصفات جديدة يصبح أمراً ضرورياً لمعادلة انحراف خط الثقل عن القاعدة السابقة بإضافة هذا الثقل. وغالباً ما يحدث أن تتحرك بعض أجزاء الجسم في اتجاهات تساعد على تحقيق ذلك، ويوضح شكل () التغيير الذي يحدث في قاعدة الارتكاز بناء على إضافة كتلة جديدة لكتلة الجسم نتيجة للرفع أو الحمل، أما في شكل () فإن الجسم يميل في الاتجاه المضاد للثقل المضاف حتى يعاد موضع خط الثقل إلى حالته الأصلية، وهذا الميل يحتاج إلى قبض للخارج في العمود الفقري وعمل مجموعة عضلات حزام الكتف.



شكل ()

ويوضح شكل () طريقة حمل ثقلين حتى وإن كانت كتلة أحدهما أكبر من الآخر إلا أن الحمل بهذه الطريقة سوف يقلل كثيراً من الميل الذي يحدث في العمود الفقري وبالتالي الشد العضلي على الجانب المضاد في حالة حمل ثقل واحد (ليفو Leveau 1977).

وفي كثير من حالات رفع الأشياء تحدث إصابات أسفل العمود الفقري عندما يتم الرفع بطريقة خاطئة، ولكن يتم الرفع بطريقة صحيحة يجب اتباع مجموعة من الخطوات:

- ١ - اختبار الثقل لتحديد وزنه تقريرياً والتأكد من إمكانية رفعه بدون مساعدة خارجية.

٢ - تحديد قاعدة الارتكاز المناسبة أقرب ما يمكن للثقل مع ثبيت العمود الفقرى فى وضع مد كامل مع قبض الركبتين للوصول للثقل مع بقاء الجذع متداً شكل () .

٣ - يرفع الثقل عن طريق قبض العضلات الباسطة للطرف الس资料 انقباضاً تدريجياً مع ضمان بقاء العضلات الماده للجذع في حالة انقباض بالتطويل .

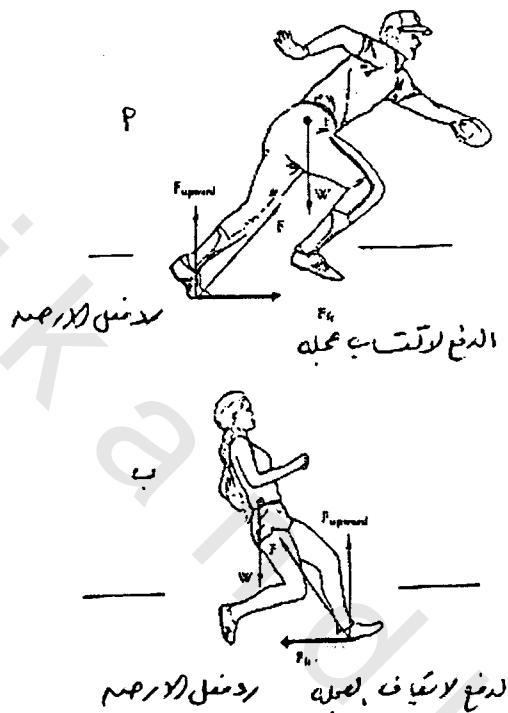
الاحتفاظ بالتوازن أثناء تغيير السرعة والاتجاه :

في المهارات التي تتضمن البدء أو التوقف أو عكس الاتجاه أو الجرى في خط منحنى أو اللف على قاعدة ارتكاز ضيقة يتطلب الأمر تحقيق مستوى محدد من التوازن ، وتحليل مثل هذه المهارات يعتمد على الكشف عن قدرة اللاعب في التحكم في كل من الاتزان الخطي والاتزان الدوراني خلال كل مرحلة من مراحل الأداء ، حيث إنه يجب تحديد أهداف كل مرحلة لحظية وإن ميكانيكا الجسم يجب أن يتم ضبطها بالشكل الذي يساعد في تحقق هذه الأهداف بدرجة عالية من الفعالية .

البدء والتوقف :

إذا كان الهدف من البدء هو إكساب الجسم سرعة عالية في اتجاه خطى عن طريق المد السريع في مفاصل الطرف السفلى ، فإنه يجب وضع مركز ثقل الجسم على نفس خط تأثير قوى رد الفعل على القدمين ، فإذا كان الهدف هو تحقيق تسارع في الاتجاه الأفقي ، فإن مركز ثقل الجسم يجب أن يوضع على أدنى ارتفاع وأبعد مسافة أفقية من نقطة تأثير الدفع شكل () . وهذه الحالة من التوازن في أوضاع البداية تستخدم في مسابقات ألعاب القوى والسباحة ، وفي مثل هذه الأوضاع يحتاج الجسم إلى دفع زاوي محدود المدار ، لإخلال الاتزان عند البداية ، وللبدء السريع فإن خط ثقل الجسم يكون أقرب ما يمكن

من الحافة الأمامية لقاعدة الارتكاز في اتجاه الحركة المطلوبة ويوضح شكل () كيفية استخدام ميل الجسم في إيقاف السرعة، حيث يؤدي الميل إلى وجود خط الثقل أقرب ما يمكن من الحافة العكسية لاتجاه الحركة من قاعدة الارتكاز.



شكل ()

وب مجرد أن يتحرك الجسم في اتجاه ما، فإن كمية حركته (الكتلة×السرعة) تصبح العامل الأساسي في الاحتفاظ بالتوازن، إذا كان الهدف هو تغيير السرعة أو الاتجاه. وهذه الحقيقة تظهر بوضوح في العديد من الأنشطة كالمشي والجري والانزلاق والهبوط في العديد من المهارات الرياضية.

وإذا كان الهدف هو تغيير في حالة حركة الجسم بتقليل سرعته للوقوف فإن المركبة الخلفية للاحتكاك تلعب دوراً أساسياً في تقليل سرعة الجسم حتى التوقف.

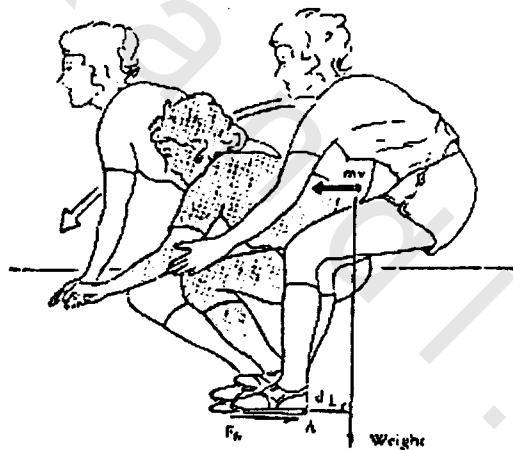
ولتقليل سرعة الرجل الحرة عند اتصالها بسطح الأرض فإن وضع القدم للأمام قدر الإمكان سوف يؤدي إلى تحقيق هدفين رئيين، الأول يتمثل في زيادة مكونة أو مركبة الاحتكاك في اتجاه إيقاف الحركة، هذا بالإضافة إلى أن وجود خط الثقل خلف نقطة اتصال القدم بسطح الأرض سوف يؤدي إلى دوران الجسم للخلف ولأسفل حول قاعدة الارتكاز أو المحور الذي تصنعه القدم مع سطح الأرض. والاحتكاك الناتج عن دفع القدم للأرض سرف يحقق قوى مقاومة لكمية حركة الجسم للأمام والتي تؤثر في اتجاه دوران الجسم أماماً حول نقطة اتصال القدم، وقد تستخدم عدة خطوات قبل اللجوء لإيقاف الجسم عن طريق احتكاك القدم.

كما أنه في حالات الهبوط في الوثب الطويل مثلاً، والتي يكون الجسم فيها في حالة حركة خطية وأيضاً حركة دورانية، فإن استمرار حركة الجسم في كلا هذين الاتجاهين عند لحظة لمس القدم للأرض تحتاج إلى محاولة للاحتفاظ بالتوازن، فمسافة الوثب يمكن تحقيقها عن طريق استغلال هاتين الصورتين من كمية الحركة (خطية - دورانية) عن طريق وضع القدمين في نقطة أبعد ما يكون للأمام عن مسار مركز ثقل الجسم، وذلك عن طريق قبض الجذع والركبتين للسماح لكمية حركة الجسم الخطية، وكذلك كمية حركة الجسم الدورانية بتحقيق عبور الجسم لنقطة اتصاله في اتجاه الحركة حتى لا يسقط الجسم للخلف. شكل ().

وعندما يحاول العداء تحويل الاتجاه أو الجري في الاتجاه المضاد، يلف الجسم ١٨٠ درجة فإن ميل الجسم للخلف يعتبر الخطوة الأولى لتحقيق ذلك،

وذلك لإيقاف حركة الجسم للأمام ثم البدء في أداء الميل ولكن للأمام لإعادة اكتساب الجسم السرعة المطلوبة في الاتجاه المضاد، والمقصود بميل الجسم هو وضع القدم الأمامية بالنسبة لخط الجاذبية، ولكن يجب مراعاة أن زيادة مد الرجل الحرة للأمام وميل الجسم بالنسبة لوضع القدم قد لا تؤدي إلى تحقيق إيقاف حركة الجسم أو تغيير الاتجاه، وقد يؤدي ذلك إلى انزلاق الرجل في اتجاه خطى مع نفس اتجاه كمية حركة الجسم.

ومبدأ التوازن المطلوب في مثل هذه الحالات من زيادة أو تقليل سرعة الجسم يمكن صياغته على النحو التالي لتحقيق الحد الأقصى من الثبات في الحركة فإنه يجب زيادة مساحة قاعدة الارتكاز في اتجاه كمية الحركة وفي اتجاه الزيادة أو التقليل المطلوب لسرعة الجسم.



شكل ()

وكلما زادت كمية الحركة تطلب ذلك زيادة مساحة قاعدة الارتكاز في هذا الاتجاه، وكلما زادت الحاجة إلى زيادة أو تقليل سرعة الجسم تطلب ذلك

زيادة مساحة القاعدة في نفس الاتجاه، وكلمة الاتجاه هذه يقصد بها الزيادة أو النقص.

وفقدان التوازن عن طريق التعرّض أو السقوط يحدث غالباً بطريقة غير متوقعة عندما لا تستطيع خلق قاعدة ارتكاز جديدة، ترتبط بشكل الحركة، وهو ما يحدث أثناء الجري عندما يتحرك مركز ثقل الجسم أماماً بسرعة معينة، في حين يمثل نقل الأقدام خلق قاعدة ارتكاز مستمرة للوزن الذي يمر دائماً بها. وعندما تعاني القدم الحرة من أي نوع من المقاومة، فإن ذلك سوف يمنع من تكوين قاعدة الارتكاز الجديدة في التوقيت الذي يجب أن تكون فيه، في حين تستمر كمية حركة الجسم للأمام. وفي هذه الحالة تسبب القوة الناتجة عن وزن الجسم عزماً حول القدم الثابتة فتشمل حالة من عدم الثبات الدوراني. وعندما تكون سرعة الجسم عالية، فإن ردود الأفعال المعاكسة تساعد في أن يستعيد الجسم توازنه عن طريق الحركات المفاجئة في الرجل التي سبق تعرّضها عن طريق عدد من الخطوات المتالية لاستعادة التوازن.

ومن ناحية أخرى إذا لم تتمكن الرجل الحرة من استيعاب ما يحدث من فقدان للتوازن فإن الدحرجة أماماً تعتبر من أساليب المعاورة التي تستخدم في تجنب الإصابة في هذه الحالة.

تغيير الاتجاه :

إلى جانب تغيير سرعة الجسم بالزيادة أو بالنقص فمن الأمور المهمة في الأداء المهاري وخاصة الأداء المتميز بالخداع في بعض الألعاب أو الجري في المنحنيات هو تغيير الاتجاه، ولأداء تغيير مفاجئ في الاتجاه أثناء حركة الجسم خطياً فإن الجسم يحتفظ ببعض من كمية الحركة في الاتجاه الأصلي، في حين يستعين بحركة في اتجاه معاير للاتجاه الأصلي، وأي تغيير في كمية حركة الجسم يتم عن طريق دفع خارجي في اتجاه هذا التغيير، فكمية الحركة الأمامية

للاعب العدو تغير عن طريق رد فعل الأرض التي تقلل من سرعة الجسم حتى تصل إلى الصفر لكي يتغير الاتجاه دون توقف، وتكون ردود أفعال الأرض هي القوى المسئولة عن هذا التغيير. فإذا كان العداء يجري للأمام ثم دفع الأرض في الاتجاه الأيسر فسوف يكون رد فعل ذلك حركة في الاتجاه الأيمن دون أن يتوقف الجسم، ومثل هذا النوع من المناورة يحتاج إلى مقدار كبير من الاحتكاك بين القدم وسطح الأرض حتى لا تنزلق القدم في اتجاه الحركة الأصلية. وكلما زاد مقدار التغيير في الاتجاه تطلب ذلك دفعاً جانبياً أكبر، وبالتالي رد فعل أكبر، أي مقاومة احتكاك عالية، لذا فإن اللاعبين أصحاب الأجسام الكبيرة لا يتمتعون بقدرة عالية على المناورة في حين أن اللاعبين ذوي الأجسام الأصغر تكون قدرتهم على المناورة عالية حيث المركبة الجانبية للاحتكاك مهما زاد مقدارها فهي مطالبة بتحريك الجسم ولو في اللحظات الأولى من المناورة في الاتجاه المطلوب. ولعل أكثر النماذج الرياضية إبرازاً لهذه الحقيقة هي خصائص صانع الألعاب في كرة السلة أو المراوغ في كرة القدم، حيث يتمتعون إلى حد ما بأجسام أقل من باقي أفراد الفريق.

يستطيع لاعب العدو أن يغير اتجاهه عن طريق الجري في دائرة، وهو ما يحدث في جرى المنحنيات في المضمار، وفي هذه الحالة يؤدى رد فعل الأرض في الاتجاه الداخلى إلىبقاء اللاعب داخل هذا المنحنى، والجري في المنحنى يحدث نتيجة لتعادل كل من القوى المركزية لرد فعل الأرض والقوى الطاردة المركزية للجسم خارج المنحنى، وكلما قل نصف قطر المنحنى الذي يجرى فيه اللاعب احتاج ذلك إلى رد فعل مركزى كبير. كما أنه كلما زادت سرعة العدو تطلب ذلك قدرًا أكبر من الاحتكاك الذى يضاد الطرد المركزى.

وتوضح الخبرة العملية أنه كلما كانت درجة الانحناء حادة أو إذا زادت السرعة فإن الاحتكاك الناتج بين القدم وسطح الأرض قد لا يكون كافياً

لتحقيق قوى مركبة كافية، مما يعني احتمال انزلاق القدم. وعندما يشعر اللاعب بإمكان حدوث ذلك فغالباً ما يخفض من سرعته أو يقلل من انحناء المسار الذي يجري فيه، وتتدخل عوامل كثيرة في الاحتفاظ بالتوازن أثناء الجري في المحننات، منها طبيعة السطح ونوع الحذاء إلى جانب العوامل السابق ذكرها.

الخصائص الحركية Motor Characteristics

إن عملية تقويم الأداء الحركي في المهارات الرياضية المكونة للألعاب المختلفة، تعتمد بالمقام الأول على دراسة الخصائص الحركية المميزة لهذه المهارات حتى يمكن تطوير أدائها والارتقاء بمستوياتها وذلك من خلال تحسين مستوى الأداء الفني من ناحية وتنمية القدرات البدنية الخاصة من ناحية أخرى.

وقد اختلفت الآراء في تحديد الخصائص الحركية المصاحبة للأداءات الرياضية، إلا أنه يمكن إيجاز مجمل هذه الآراء على النحو التالي:

- البناء الحركي

- النقل الحركي

- الانسياب الحركي

- الإيقاع الحركي

- التوقع الحركي

أولاً : البناء الحركي :

لا شك أن لكل أداء حركي بناءه الخاص الذي يميزه عن غيره من

الأداءات الحركية الأخرى وأن لهذا البناء مواصفاته الخاصة التي تتخذ ترتيباً محدداً لمجموعة الإجراءات التي يتكون منها، فمن السهل أن تميز بين المشي والجري وبين الوثب والمحجل، كما أنه من السهل أيضاً أن تميز بين الوثب الطويل والوثب الثالثي. فلكل من هذه الأشكال الحركية مجموعة من الإجراءات ذات المواصفات الخاصة والتي تمثل في إنجاز واجب حركي محدد له مساحته الزمنية وله ديناميكيته الخاصة.

وقد نشأ عن هذا المفهوم للبناء الحركي تصنيفاً عاماً للحركات أو المهارات يتلخص في :

الحركات الوحيدة : وهي حركات تمر بثلاثة مراحل رئيسية يمكن التمييز بينها رغم تداخلها واتصالها وتسمى بالمرحلة التمهيدية، المرحلة الرئيسية، المرحلة النهائية. وهي تؤدي لمرة واحدة وتنتهي بانتهاء تحقيق الهدف منها ومن أمثلتها التصويب في ألعاب الكرات والوثب والرمي والقفز في ألعاب القوى ومهارات الجمباز المفصلة (أى أنها حركات ثلاثة المراحل).

ولكل مرحلة من مراحل الحركة الوحيدة مواصفاتها الخاصة وأهميتها النسبية في استكمال متطلبات الأداء.

الحركات المتكررة : ويسمى البعض بالحركات ثنائية المراحل، حيث أن كل حركتين متتاليتين مكونات وحدة من وحدات التكرار كالجري والسباحة والدراجات، لذا فإن الحركات المتكررة تختلف عن الحركات الوحيدة في أنها ثنائية المراحل حيث تندمج فيها المرحلة النهائية مع المرحلة الابتدائية وتسمى بالمرحلة المزدوجة يتبعها تحقيق الهدف الميكانيكي الأساسي في المرحلة الرئيسية.

ويعتبر مثال الوثب العالى فى المكان مع رفع الركبتين باستمرار نموذجاً للحركات المتكررة التي تندمج فيها المرحلة النهائية عند مد الركبتين والهبوط للارتكاز مع المرحلة الابتدائية فى التحضير للوثب مرة أخرى.

وللحركة المتكررة عدة أشكال منها :

* **الحركة المتكررة البسيطة.** ويوضحها المثال السابق .

* **الحركة المتكررة المتزامنة.** وفيها تتزامن حركتين مختلفتين من حيث الشكل في وقت واحد مع تكرار ذلك باستمرار كما هو الحال في حركات الذراعين وحركات القدمين في نفس التوقيت في سباحة الفراشة أو الظهر .

* **الحركة المتكررة المتبادلة:** وفيها تتزامن حركتين متشابهتين إلى حد ما من حيث الشكل مع تكرار ذلك باستمرار كما هو الحال في حركات الذراعين والقدمين في العدو أو في سباحة الصدر .

* **الحركة المتكررة المركبة:** وفيها تكرر مجموعة من الحركات الوحيدة مع إضافة حركة متكررة ثانية على فترات زمنية متساوية كما هو الحال في الحواجز ، ففي كل مرة يجري فيها اللاعب ثلاث خطوات ثم يقوم بتعديلية الحاجز ويكرر ذلك لعشر مرات في سباق ١١٠ حواجز مثلاً .

الحركات المركبة: يعتبر هذا النوع من الحركات من أكثر الحركات تعقيداً فهي عبارة عن مجموعة من الواجبات الحركية التي تتطلب عدة اجراءات متباعدة وتتمثل معظم مهارات الألعاب الجماعية نماذج جيدة لهذا النوع من الحركات . فالاقتراب والارتفاع والتحضير لضرب الكرة ثم أداء الضرب الساحق في الكرة الطائرة أو السقوط على الدائرة لاستلام الكرة وتصويبها في كرة اليد أو استلام الكرة من الجرى ثم تصويبها نحو المرمى في كرة القدم كلها نماذج للحركات المركبة التي تبيان فيها الواجبات الحركية وتتعدد ترتيباً خاصاً تحدده مواقف اللعب .

الجملة الحركية: قد يكون هذا التصنيف خاص ببعض الرياضيات كالجمباز والتمرينات الحديثة ومسابقات الانزلاق داخل الصالات والبالغه المائى . حيث يتم وصل الحركات بعضها دون حدوث أي خلل في عمليات الوصل أو

الربط فتكون المرحلة النهائية لكل حركة هي المرحلة الابتدائية للمهارة التالية . وتصف مثل هذه الحركات بما يطلق عليه في مجال الموسيقى بالهارموني الذي يمثل فيه اتقان المرحلة النهائية أهمية بالغة في تحديد مستوى أداء المهارة التالية . وهنا تلعب عملية الإيقاع الديناميكي الدور الأساسي ونجاح أداء مثل هذه الجمل الحركية . (ويقصد بالإيقاع الديناميكي القدرة على توفير المتطلبات الديناميكية كماً وكيفاً وفقاً لترتيب الحاجة إليها خلال الأداء) .

ثانياً : النقل الحركي :

يتلخص مفهوم النقل الحركي في توافق عمل أجزاء الجسم لتحقيق واجب حركي معين وعلى الرغم من اختلاف وجهات نظر العلماء حول تزامن عمل الأجزاء ، إلا أنه يمكن القول أن استخدام مصطلح توافق عمل الأجزاء لتحقيق واجب حركي معين قد جاء ليؤكد على أهمية ضبط توقيت مشاركة كل جزء من أجزاء الجسم في هذا الواجب . ولعل وجه النظر التي تشير إلى تسلسل عمل الأجزاء بناء على القوة العضلية لهذه الأجزاء بأن تبدأ القوة الأكبر ثم الأقل وهكذا ، هي الأقرب إلى الموضوعية في كثير من الأحيان ، فلاعب رفع الأثقال يبدأ بعد القدمين ثم الجذع ثم الذراعين وهذا التسلسل يعتبر تسلسل منطقي .

أنواع النقل الحركي :

نظراً إلى أن مفهوم النقل الحركي هو مفهوم ديناميكي يتمثل في انتقال كمية الحركة الناتجة في جزء من أجزاء الجسم إلى جزء آخر وفي توقيت محدد يساعد ذلك على نجاح أداء الواجب الحركي فقد أمكن تقسيم النقل الحركي إلى النقل الحركي من الجذع إلى الأطراف والنقل الحركي من الأطراف إلى الجذع .

١ - * النقل من الجذع إلى الذراعين

(ملاكمـة - مبارزة - رميـة التـماـس - الضـرب السـاحـق - التـصـوـيب فـي كـرـة الـيد - رـمي الرـمـح - الضـرب السـاحـق فـي التـنس) .

٢ - * النقل من الجذع إلى القدمين

(ركل الكرة في كرة القدم - السباحة وخاصة الفراشة - الاستعداد للهبوط في الوثب الطويل والثلاثي - المروق من أعلى العارضة في الوثب العالي بطريقة فوسبورى).

٣ - * النقل من الجذع إلى الرأس

(ضرب الكرة بالرأس في كرة القدم).

النقل الحركي من الأطراف إلى الجذع :

* النقل من الذراعين إلى الجذع

(مرجحة الذراعين في الوثب بأنواعه - جميع حركات الارتكاز باليدين في الجمباز - حركات الذراعين في سباحات الصدر والزحف).

* النقل من القدمين إلى الجذع

(المشي والجري والوثب واللحجل - حركات الكبات في الجمباز).

* النقل من الرأس إلى الجذع

(جميع حركات الدورانات وذلك لما يسمى بالوضع القيادي للرأس).

ثالثاً : الإيقاع الحركي :

تناول العديد من العلماء مفهوم الإيقاع بشكل عام بارتباطه بجوانب الحياة المختلفة وقد تناول كل منهم هذا المفهوم من وجهة نظر ارتباطه بالمجال الذي يهتم به فلعمل الأجهزة الحيوية إيقاعها الخاص بها ولحركة الأمواج في البحر إيقاعها الخاص بها.

وفي مجال الحركة تناول الإيقاع الحركي عدد من العلماء على رأسهم «ماينيل» الذي عرف الإيقاع الحركي بأنه تقسيم ديناميكي زمني للحركة بمعنى تبادل لأفعال ديناميكية ذات مقادير واتجاهات مقتنة على مدى زمني محدد.

لذا فإن الإيقاع الحركى بهذا المفهوم يمثل أحد أهم الأسس التي يبنى عليها تحليل وتقدير الأداء فى المهارات الرياضية. هذا بالإضافة إلى أهميته البالغة فى تعليم هذه المهارات.

وقد ارتبط الإيقاع الحركى بالإيقاع فى الموسيقى، منذ نشأة الأخلاقية، فقد عبر الإنسان الأول بالموسيقى فى أبسط صورها باستخدام النقر على الحجارة ثم الطبول والأدوات الإيقاعية البسيطة.

فالإيقاع الموسيقى عبارة عن تنسيق متظم يعتمد على تقسيم الوحدة الزمنية لصوت أو أكثر بمقادير متساوية أو مختلفة من حيث مدتها.

أما الإيقاع الحركى فيمكن أن يتخذ نفس المفهوم من حيث كونه تنظيماً زمنياً ديناميكياً يميز الأداءات الرياضية المختلفة ومن هذا المفهوم يمكن تقسيم الإيقاع الحركى إلى بعدين رئيسيين:

* **البعد الأول**: وهو التوزيع الزمنى لكل جزء من أجزاء الحركة أو المهرة.

* **البعد الثانى**: وهو التوزيع الديناميكى المتمثل فى القوى المسيبة للحركة والمؤثرة فيها.

البعد الزمنى للإيقاع الحركى :

نظراً إلى أن هذا البعد يرتبط بالزمن فإنه يمكن عمل تحليل زمن لأى أداء مهارى وتوزيع الأزمنة على مراحل وأجزاء المهرة على أن يعتبر هذا التوزيع معياراً للحكم على مستوى الأداء وأن أى خلل فى نسب هذه الأزمنة يعني خللاً فى الأداء. وأن هذا التوزيع قد يختلف من فرد لآخر باختلاف خصائصه الجسمانية ومواصفاته البدنية وحالته التدريبية.

البعد الديناميكى للإيقاع الحركى :

وهو المظهر الذى يعبر عن مسار بذل القوة بصورها الديناميكية المختلفة خلال أداء مراحل الحركة ويمكن قياسه بالتعرف على سرعة أجزاء الجسم فى

كل مرحلة من هذه المراحل، وبما أن مصدر القوة هنا، هو العضلات المشاركة في الأداء فإنه يمكن متابعة تبادل انقباض وارتخاء هذه العضلات ومعدلات التغير في هذا الانقباض عن طريق الأجهزة الخاصة بذلك ومنها جهاز قياس النشاط الكهربائي (EMG).

وعلى هذا فإنه يمكن اعتبار الإيقاع الحركي تناغم عمل العضلات بالانقباض والانبساط خلال وحدات زمنية محددة تقسم المهارة الرياضية إلى مراحل.

ويظهر الإيقاع الحركي بشكل واضح في الحركات المتكررة ومنها مهارات الجري والتجميد والسباحة، فحركات الذراعين والقدمين وكذلك التنفس في السباحة ب مختلف أنواعها تتم بإيقاع حركي محدد يعنى أن تعمل كل مفردة من هذه المفردات بتنااغم مع باقى المفردات الأخرى المكونة لنوع السباحة.

وعلى الرغم من ظهور أهمية الإيقاع الحركي في الحركات المتكررة (ثنائية المراحل) إلا أنه يلعب نفس الأهمية في الحركات الوحيدة (ثلاثية المراحل). وهنا لا تتخذ المسألة صفة التكرار ولكنها تمثل في التوزيع الزمني الديناميكي للمراحل الثلاث التي تتكون منها الحركة أو المهرة حيث أن لكل مرحلة مواصفاتها وخصائصها المميزة التي تسمى ب بعد زمني ، وفي نفس الوقت بعد ديناميكي ، وتتعدد هذه الأبعاد علاقات ثابتة ومميزة لأى أداء دون الآخر، كما أنها قد تختلف من فرد إلى آخر وفقاً لاستعداداته وقدراته، إلا أنها تعتبر نمطاً واحداً مميزاً لهذه المهرة مهما اختلف الأفراد الذين يؤدونها.

رابعاً : التوقع الحركي :

إن من أهم الموضوعات التي تناولها التحليل الحركي الوصفي موضوع التوقع الحركي فهو من أهم المظاهر الحركية المصاحبة للأداء الرياضي وخاصة في الألعاب الجماعية وبعض المواقف في الألعاب الفردية ومنها الملاحمات كالصارعة والملاكمة والبارزة.

فالفهم الدقيق لمراحل الحركة وأنواع الحركات والإللام بالكم الواقى من المعلومات عن الأداء الحركى يساعد على ارتفاع مستوى التوقع الحركى.

ومن هذا المنطلق فالتوقع الحركى عبارة عن استجابة حركية يؤدىها اللاعب نتيجة لمؤثر خارجي يأتى عن طريق تصرفات الخصم السابقة لإنجاز الهدف الميكانيكى الأساسى من الحركة أو الجملة التكتيكية، وهو يعتمد بدرجة كبيرة على مجموعة الخبرات المكتسبة من التدريب والمنافسة والتى تتبع فيها التصرفات بتتنوع المواقف.

وتمثل المرحلة التمهيدية لأداء أى مهارة المصدر الأول لاستجابات التوقع الحركى، فهى أولى المؤشرات التى تثير انتباھ اللاعب نحو أداء مهارى معين، لذا فإن معظم حركات الخداع والمارواغة الناجحة تبنى على أساس توجيه انتباھ الخصم نحو مؤثر حركى يوحى بأداء مهارى معين ثم تغيير مفاجئ، فى إجراءات التنفيذ لأداء مهارى مختلف.

ويتأسس التوقع الحركى على القدرات الحسية الحركية حيث يلعب كل من إدراك الزمن وإدراك المسافة وإدراك القوة.... الخ دوراً أساسياً في نجاح التوقع. ومن أكثر الألعاب اعتماداً على التوقع الألعاب الجماعية التي قد تتساوى فيها كافة القدرات البدنية والمهارية والخططية للفريقين المتنافسين ويكون للتوقع هنا الدور الأساسي والغلبة في الفوز، فالاعتماد على الإدراك الخاطئ للخصم نتيجة للإيحاء بأداء مهارى معين من خلال مجموعة من الإجراءات الحركية الكاذبة أو غير الحقيقة هو حجر الزاوية في نجاح كل من المراوغة والخداع والتي لا يخلو منها أى بناء خططى.

وللتوقع الحركى مظهران رئيسيان :

★ التوقع الحركى الذاتى :

وهو مرتبط بأداء الفرد نفسه دون أى دخل للخصم في مريئاته وتصوره،

ويتأسس عليه فكرة اللاعب عن نفسه بما يمكن أن تسهم به قدراته في نجاح الأداء، فلاعب الجمباز يعيش التوقع الذاتي بكافة تفاصيله في كل لحظة من لحظات الأداء. حيث يعينه توقعه الصحيح للنتائج الحركية في الاقتراب مثلاً على تقدير متطلبات كل مرحلة من المراحل التالية خلال القفز، كما أن لاعب الحاجز يتوقع شكل مروقه من فوق الحاجز من خلال ما توفر لديه من معلومات عن الخطوات الثلاث السابقة للحاجز وبالتالي فإنه يعدل من وضع جسمه ومن المتطلبات البدنية المفترض بذلها حتى يستكمل أداءه بنجاح.

★ التوقع الحركي الخارجي :

وهو مرتبط بحركات الخصم أو المنافس كما أنه مرتبط بظروف اللعب حيث تبني فيه الاستجابة على ما يتوقعه اللاعب من حركات بناء على مقدمة مشوشه من الإجراءات الحركية التي يوحى لها بها الخصم أو المنافس.

كما أن للتوقع الحركي الخارجي عدة أشكال تبدأ من أبسط صور التوقع التي تعتمد على اختزال المرحلة التمهيدية أو تكرارها إلى أعقد هذه الصور في الموقف المركبة التي يتحرك فيها أكثر من منافس في اتجاهات مختلفة للتمويل. وتتوقف قدرة الفرد على تحقيق أعلى درجات التوقع الحركي على قدرته على تقدير كل من التغيير المفاجئ للسرعة والمسافة والارتفاع والزمن والاتجاه . . . الخ.

خامساً : الانسياب الحركي

المقصود بالانسياب الحركي، عملية الربط بين الإجراءات الحركية التي يلجأ إليها اللاعب عند أدائه للمهارة، وهو يعتمد على كفاءة المستقبلات العصبية الحسية المنعكسة في أداء وظيفتي الكف والاستئارة وتوقيت أداء كل من هاتين الوظيفتين، كما يعتمد على تناغم العمل العضلي والتوزيع الزمني لдинاميكية الانقباض العضلي.

فكيف تعمل العضلة؟ ومتى تنبض أقصى انقباض لها؟ ومتى يتغير شكل الانقباض من انقباض ديناميكي إلى انقباض ثابت أو العكس؟ ومتى تدخل عضلة أخرى بعمل جديد؟ وما هو نوع العمل المطلوب من هذه العضلة حتى تساعد أو تمنع حدوث حركة مرغوب فيها أو غير مرغوب فيها؟ وهكذا من مئات الأسئلة التي يمكن أن تطرح في هذا المجال.

فلكي يحدث الارتقاء في الوثب سواء كان عال أو طويلا يتطلب الأمر مواصفات خاصة للخطوات السابقة له. وإذا ما تمت هذه المواصفات ولكن بمقادير محدودة فكيف يكون شكل العمل العضلي أثناء الارتقاء؟ وهل هذه المواصفات تناسب وقدرات اللاعب البدنية؟ أم أن اختياره لها يكون في ضوء هذه القدرات؟

نصل من ذلك كله إلى أن الانسياب الحركي هو دلالة لكتفاعة الجهاز العصبي الحركي في تفزيذه لمجموعة من الإجراءات التي تكون في مجموعها وترتيبها متطلبات الأداء المهاري الناجح.

ونود الإشارة هنا إلى أن هذا التصنيف الذي استخدمناه كان الهدف منه توصيل المعلومة للقارئ حول الخصائص الحركية التي يمكن أن يقوم ويقيس بها الأداء المهاري كأصول مرجعية يضعها كل من المدرس والمدرب في اعتباره عند التعامل مع التعليم والتدريب.

إلا أن هذا الفصل التعسفي بين مضمون هذه الخصائص لا يحدث إلا لزيادة الإيضاح وأن كل هذه الخصائص تجتمع في الأداء الجيد ويصعب الفصل بينها. فتحقيق الانسيابية يتأسس على ضبط التوقيت وتحقيق إيقاعاً حركياً مثالياً، وإذا ما توافر في الأداء المهاري كافة هذه الخصائص فإن ذلك يعني أن هناك مستوى عال من التوقع.. وهكذا.

التحليل الحركى

يعتبر التحليل الحركى ترجمة حقيقة لما أفادت به علوم الحركة من التطورات التكنولوجية سواء كان فى الأجهزة أو فى الأدوات أو فى طرق البحث. حيث أنه يعتمد على مجموعة من المبادئ الأساسية المستقاة من نظريات وقوانين العلوم المرتبطة بنشاط الجسم البشري لتوفير القدرة الكافية لتحقيق أفضل طرق تعليمية وتدريرية لدى القائمين بهذه العملية.

فالغالباً ما يحتاج العاملين فى مجال التدريس والتدريب إلى تحليل منطقى للحركات والمهارات الرياضية والدخول إلى تفاصيل هذا الأداء وذلك عن طريق دراسة المتغيرات التى تفسر هذا الأداء.

ويصنف التحليل الحركى إلى نوعين رئيين هما :

- التحليل الكيفي Qualitative analysis

- التحليل الكمى Quantitative analysis

وبنفس المفهوم الذى تناولنا به دراسة الحركة كينماتيكيا وكيناتيكيا فإن التحليل الكيفي يعتمد على وسائل وأدوات تحقق توفير للمعلومات الوصفية التى تفسر الأداء، فى حين أن التحليل الكمى يعتمد على وسائل وأدوات وأجهزة توفر معلومات كمية ترتبط بالأداء من حيث أسبابه وما ينتج عنه.

والتحليل الحركى بصفة عامة مهما اختلفت مستوياته يوفر للمدرس أو المدرب النقاط الأساسية التالية:

- * المعرفة التامة والدقيقة بالمهارات والحركات المراد تعليمها أو التدريب عليها من الناحية الفنية والأسس العلمية المرتبطة بهذه الفنات.
- * المعرفة السابقة باستعدادات الممارسين وإمكاناتهم الخاصة.
- * إمكانية ترجمة الحقائق العلمية المرتبطة بالأداء إلى مواقف تعليمية يسهل استيعابها.
- * بناء البرامج التدرية سواء في الإعداد البدني أو الإعداد المهاري والخططي بناء على هذه الحقائق.

ونظراً لما يمثله التحليل الحركى من أهمية قصوى للقائمين على عملية تدريب وتعليم المهارات الرياضية فإن الأمر يتطلب توافر المعرفة الكافية عن قواعد التحليل الحركى والتى تعتمد على المبادئ الأساسية لكل من علم الحركة التشريحى والميكانيكا الحيوية والعلوم الأخرى المرتبطة بالحركة.

وقد مر التحليل الحركى كغيره من العلوم المرتبطة بالحركة الرياضية بمراحل متعددة انتهت إلى تصنيفه إلى أنواع رئيسية هي:

- ١ - التحليل الحركى البدنى (بدون استخدام التسجيل المرئى).
- ٢ - التحليل الحركى باستخدام التصوير (سينما - فيديو - أشعة دون الحمراء).
- ٣ - التحليل الحركى باستخدام التصوير المركب (سينما - فيديو - أشعة دون الحمراء).

أولاً : التحليل الحركى البدنى (بدون استخدام التسجيل المرئى) :

وهذا التحليل يعتمد بالمقام الأول على خبرة كل من المدرس والمدرب

وقدرته على ملاحظة الأداء بفكر تحليلي دقيق، وفيه تم الملاحظة المقننة للأداء من خلال تكرار متابعة المعلومات الحركية المراد دراسها، وتتمثل المعلومات الأساسية في كل من تشريح الجسم بالإضافة إلى القواعد والمبادئ الميكانيكية الأولية القاعدة العريضة التي تبني عليها خطوات هذا النوع من التحليل والتي يبدأ التفكير فيها ووضع تصور عنها بمجرد تكرار الملاحظة.

وتعتبر المعلومات المطلوب توافرها عن الأداء على نفس مستوى الأهمية بمعرفة الدارس لإجراءات التحليل فبمجرد أن تتم الملاحظة تبدأ مهارة التحليل والتي تعتمد على توافر قدر كافٍ من المعلومات إلى جانب القدرة على التحليل المنطقي لمكونات يتم ملاحظتها.

وهذه المهارة يمكن اكتسابها عن طريق متابعة طرق أداء أشكال مختلفة من المهارات لعدد كبير من المرات مع الأخذ في الاعتبار بتحديد المكونات التي يجب ملاحظتها في كل مرة وعزل هذه المكونات عن باقي مكونات المهارة ككل. كأن تتم ملاحظة حركة الذراع الرامي في رمي الرمح مثلاً دون تشتيت الانتباه بالتركيز على باقي حركات أجزاء الجسم.

المعلومات المرتبطة بمهارة المراد تحليلها :

تعتمد القدرة على القيام بهذه العملية على الإلمام التام بطبيعة المهارة محللة والهدف الأساسي منها، حيث أن عدم استيعاب طبيعة الأداء والهدف منه، يسبب صعوبة كبيرة في تحديد المتغيرات المصاحبة للمهارة المدروسة، كما أنه قد يؤدي إلى سوء تقدير لنوع البيانات المراد تجميعها عن الأداء.

والفرد المدرب على مهارة التحليل يكون قادرًا على مناقشة الجوانب الكمية في الأداء رغم عدم قياسها، وفي التحليل الحركي المبدئي قد لا يكون التقدير الكمي على درجة كبيرة من الدقة ولكنه عادة ما يتم دراسة المعدلات بشكل نسبي كأن نلاحظ مثلاً أن سرعة الركبة عند رفع القدم في خطوة

الجرى تكون من سرعة القدم وأن هذه العلاقة النسبية تتغير بتغير حركة القدم عند مرجحتها للأمام لاستكمال الخطوة.

ومن الأمثلة التي يمكن تناولها في عمليات التحليل الحركي المبدئي، في محاولة لإيضاح هذا النوع من التحليل والذي يعتمد على التسلسل المنطقي في التفكير، النموذج الذي اقترحه روس Ross ١٩٥٩ حيث اقترح أن تم عملية الملاحظة بناءً على متابعة حركة أجزاء الجسم على النحو التالي:

- ١ - الزمن الكلى للأداء.
 - ٢ - حركة العمود الفقري والخوض.
 - ٣ - نقطة اتصال الجسم بالأرض أو الجهاز أو أي جسم آخر.
 - ٤ - حركات الرأس والكتفين.
 - ٥ - حركة الذراعين واليدين.
 - ٦ - حركة الفخذين.
 - ٧ - تفاصيل ما يحدث في كل الخطوات السابقة في حركة المتابعة.
- وبصفة عام يجب أن يكون هذا النوع من التحليل الحركي واضح ومحدد الأهداف، بحيث تكون الأسئلة المطروحة حول تفسير النقاط السبعة السابقة محددة وتحدم الأهداف المراد إجراء التحليل من أجلها.

وغالباً ما تستخدم استماراة خاصة، بحيث يتولى عملية تسجيل الملاحظات والمعلومات التي تجحب على الأسئلة المطروحة أفراد مدربين سبق لهم اتباع هذا الأسلوب من الملاحظة، كما يفضل أن يكونوا من درسوا المقررات الأساسية لعلم الحركة.

وفي البداية يمكن التدريب على ملاحظة مهارات بسيطة لا تستغرق زمن أداء طويل مع مراجعة الملاحظات والتأكد على المعلومات الأساسية المطلوب متابعتها.

وعادة ما يكون مثل هذا الأسلوب ذو فعالية عالية بالنسبة للمدرب، حيث أن ملاحظة أخطاء الأداء تساعد في اختيار التدريبات المناسبة والخاصة بعلاج هذه الأخطاء حيث يجب أن تكون هذه التدريبات شاملة لل نقاط الرئيسية التالية:

- ١ - تمارين محددة لتنمية الصفة التي يلاحظ تأثيرها على الأداء بشكل ملحوظ.
- ٢ - شدة الحمل وحجم الحمل المستخدمين لهذه التمارين.
- ٣ - سرعة أداء التمارين وارتباطه بطبيعة الأداء المهاي.

★ التحليل الحركي للمهارات الرياضية بتقسيمها إلى مراحلها :

لقد شاع استخدام تقسيم المهارة الرياضية إلى مراحلها بهدف تسهيل إجراءات التعليم والتدريب، وقد بنى هذا التقسيم على أساس الهدف الميكانيكي الأساسي من المهارات الرياضية والمجدول التالي يوضح قائمة بالأهداف الميكانيكية الأساسية لمعظم المهارات الرياضية.

جدول (١)

قائمة الأهداف الميكانيكية الأساسية للمهارات الرياضية

الهدف الميكانيكي الأساسي	المهارة
١ - انطلاق الأداة أو الجسم لأقصى مسافة أفقيّة	قرص - رمح - جلة - ثوب طويل
٢ - انطلاق الأداة أو الجسم لأقصى ارتفاع رأسياً	وثب عالي - زانة - دوريات هوانية
٣ - انطلاق الأداة بمستوى عال من الدقة	السهام - الرماية - التصويب بأنواعه
٤ - انطلاق الأداة بمستوى عال من الدقة مع توافر	الضرب الساحق - الإرسال في التنس
عنصر السرعة	الإرسال في الكرة الطائرة

٥ - التغلب على مقاومات

السباحة

المصارعة - الجودو

حركة الجسم

لمسافة محددة مع أو بدون زملاء

جمباز - باليه - غطس - كمال أجسام

٦ - تحريك الجسم وأجزائه لإنجاز نمط حرکى محدد

الفورس - تسلق الجبال.

٧ - تحريك الجسم في ظروف بيئية ميكانيكية مختلفة

واستخدام الهدف الميكانيكي الأساسي في تصنيف المهارات الرياضية،
ليس إلا مجرد تحديد مبدئي يساعد في التحديد القاطع لبدايات ونهايات
المراحل التي يمكن أن تقسم لها المهرة.

ما سبق يتضح أن إجراءات التحليل الحرکي المبدئي، يمكن تلخيصها على
النحو التالي :

١ - تحديد الهدف الميكانيكي الأولى للمهارة موضوع التحليل .

٢ - تحديد المبادئ والأسس التشريحية والوظيفية والميكانيكية التي تؤثر
في فعالية الأداء .

٣ - التعرف على المحددات التي تحكم أداء كل مهارة ومنها:

أ - البيئة الميكانيكية التي تؤدي فيها المهرة (نوع سطح الأرض - سرعة
الريح الخ) .

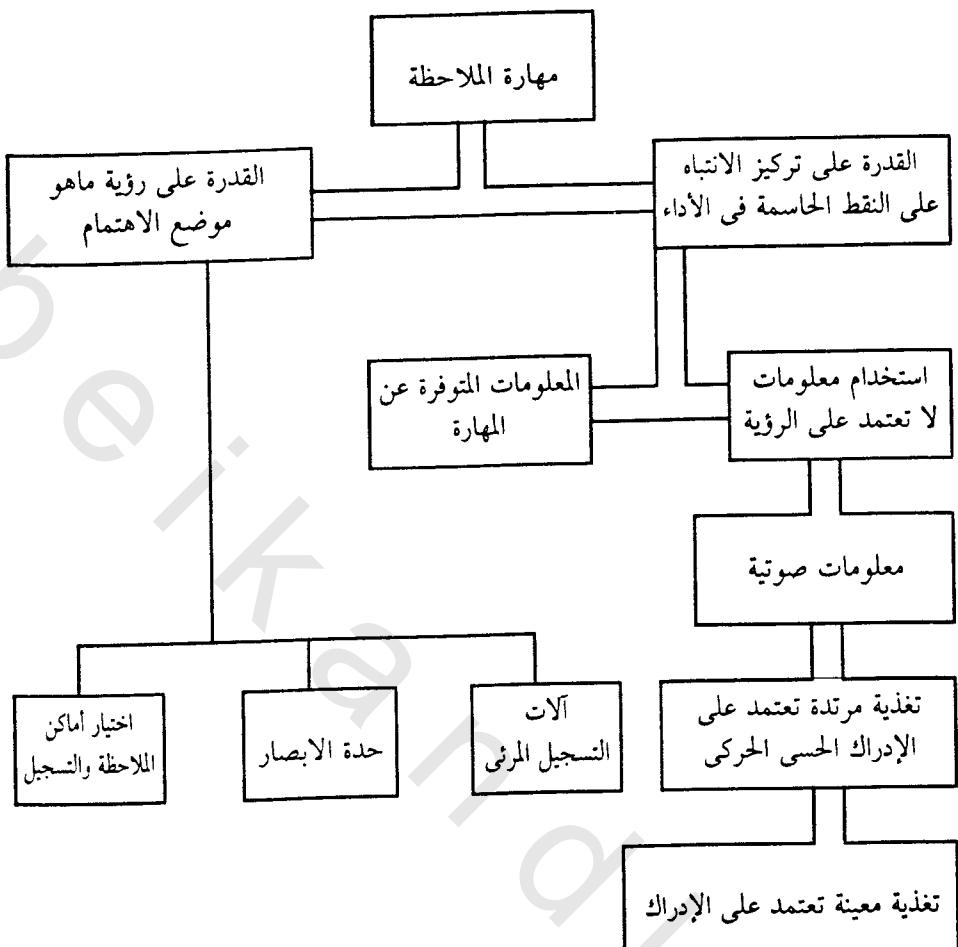
ب - الخصائص الانثروبومترية وكذلك أي خصائص أخرى مميزة للاعب المؤدي.

ج - الحركة السابقة والحركة اللاحقة للمهارة .

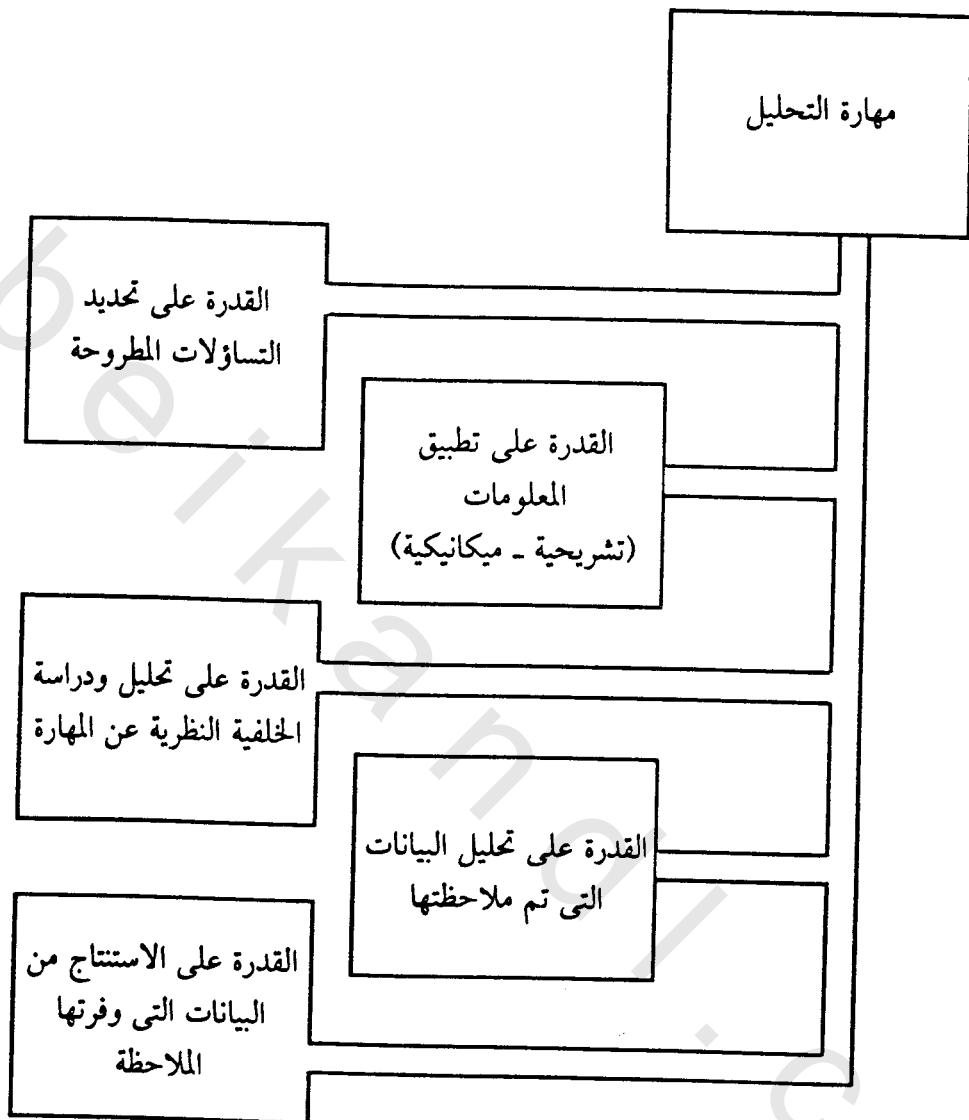
وسوف نلخص كل من مهارة الملاحظة ومهارة التحليل في الشكلين التاليين.

ثانية : التحليل باستخدام التصوير

تطور هذا النوع من التحليل بتطور وسائل التسجيل المرئي ما بين آلة
التصوير الفوتوغرافية العادية وحتى أجهزة الأشعة دون الحمراء وأجهزة المجال
المغناطيسي .



شكل () مكونات مهارة الملاحظة



شكل () مكونات مهارة التحليل

وكان الفكرة الأساسية من استخدام التصوير هي تسجيل تفاصيل حركية يمكن الرجوع إليها ودراسة متغيراتها في وقت لاحق.

ونظراً لأن هناك العديد من الحركات والمهارات التي تؤدي كاملاً أو تؤدي مراحلها في لحظات متناهية في الصغر وبحيث لا تتمكن العين من ملاحظتها، فقد كان لسرعة التصوير أهمية كبيرة في تسجيل تفاصيل هذه اللحظات فتطورت آلات التصوير سواء السينمائي أو الفيديو لكي تسجل الأحداث الحركية بعدلات سرعة تصل في بعض الأحيان إلى ٢٠٠ صورة في الثانية الواحدة.

ولكي يتم تحليل المهارة الرياضية باستخدام التصوير فهناك مجموعة من الإجراءات والشروط التي يجب اتباعها سواء بالنسبة للمؤدي أو بالنسبة لآلة التصوير نفسها أو بالنسبة للخطوات التي تتبع في عملية التحليل.

* إن الفكرة الأساسية من التحليل الذي يعتمد على التصوير المتسلسل سواء السينمائي أو الفيديو أو تسجيل حركة نقط مرجعية محددة باستخدام الأشعة دون الحمراء أو المجال الحراري أو المغناطيسي هي حساب التغير الزمانى المكانى لأجزاء الجسم بالنسبة لنقط مرجعية محددة. ثم استنتاج كافة المعلومات الكينياتيكية والكينيماتيكية بعلمومية كل من الزمن والإزاحة وكذلك بعلمومية كتلة الجسم ككل وكذلك أجزاؤه تباعاً على جداول محددة تساعد في حساب كتلة كل جزء من أجزاء الجسم ومكان هذه الكتلة أو بمعنى آخر مركز ثقلها على المحور الطولى الم عبر عن هذا الجزء. كما هو موضح في جدول (٢).

جدول (٢)

أماكن مراكز ثقل الأجزاء والأوزان النسبية لها (بلاجنهوف ١٩٨٣)

الجزء	مكان مركز الثقل	الوزن النسبي رجل	الوزن النسبي سيدات
الرأس	خلف حلمة الأذن	% ٨,٢٦	% ٨,٢٠
الجذع	ثدي	% ٥٥,١٠	% ٥٣,٢٠
العضد	كتف	% ٣,٢٥	% ٢,٩٠
الساعد	أذن	% ١,٨٧	% ١,٥٧
اليد	ذراع	% ٠,٦٥	% ٠,٥٠
الفخذ	بطن	% ١٠,٥	% ١١,٧٥
الساق	بطن	% ٤,٧٥	% ٥,٣٥
القدم	بطن	% ١,٤٣	% ١,٢٣

ويتميز هذا النوع من التحليل سواء كان باستخدام التصوير السينمائي أو الفيديو أو الأشعة تحت الحمراء، في إمكانية عرض ما يتم ملاحظته من بيانات أثناء أداء المهارة حيث يتحقق التسجيل فرصة تكرار الملاحظة في أي وقت والتعامل مع هذه البيانات بأساليب مختلفة من المعالجة.

هذا بالإضافة إلى أن هذا الأسلوب يسمح بمتابعة التفاصيل الدقيقة للأداء والتي لا تلاحظها العين المجردة خاصة إذا استعملت سرعات تصوير عالية.

ويطلب استخدام هذا الأسلوب دراسة كاملة بالمعلومات العلمية والتكتيكية الخاصة بالأداء حتى يمكن تحديد الأهداف المراد الوصول إليها من التحليل.

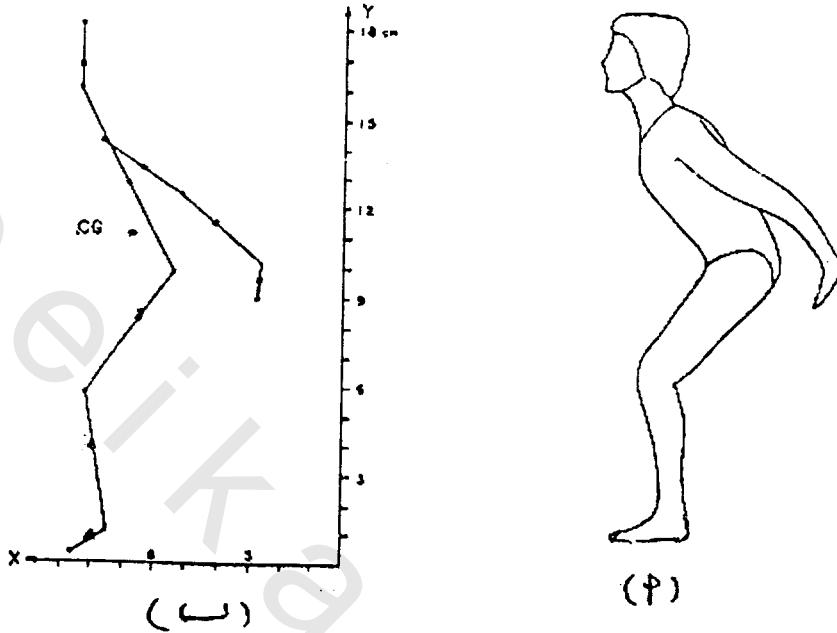
وتختلف مستويات التحليل بالنسبة لمستوى الدارسين ونوع البيانات المراد الحصول عليها، فقد يكتفى بأن تتم ملاحظة الفيلم لعدة مرات عن طريق

النظام الذى يسمى باللون أو الحلقة المتصلة مع الاستعانة باستماراة التسجيل السابق الإشارة إليها لتسجيل الملاحظات.

أما بالنسبة للمستوى الأعلى فيتم تحليل الفيلم (صورة - صورة) وتسجيل حركات المفاصل خلال كل مرحلة من مراحل الأداء، ومدى هذه الحركة واتجاهها سواء كانت مع أو ضد الجاذبية الأرضية والعضلات العاملة على هذه المفاصل، وكذلك تحديد الخطأ الموجود في الأداء واقتراح أساليب إصلاحه والتدريبات الخاصة بها.

ولدراسة حركات مفاصل الجسم عن تحليل أي فيلم عدة طرق من أهمها طريقة رسم الخطوط الخارجية الممثلة للجسم ككل أو طريقة الأشكال العضوية وفي كلتا الحالتين يستخدم جهاز لعرض الفيلم (صورة - صورة) ونقل الصور المراد دراستها، ويتم النقل بعدة طرق إما بالطريقة اليدوية أو باستخدام جهاز لتحديد الإحداثيات (x.y) لكل نقطة، كما يتم تحديد الأوضاع المراد تحليلها وفقاً للهدف من الدراسة فقد يستخدم المعدل الثابت في اختيار الصور لأن يتم رسم وضع كل من ٣ أو ٤ صور أو يستخدم معدل غير ثابت يتم التركيز فيه على المراحل المراد دراستها بأن تختار كل الصور.

وتساعد طريقة رسم الخطوط الخارجية في الحصول على الشكل العام للحركة، إلا أنها تعتبر قليلة الفائدة في التحديد الدقيق لواقع مفاصل الجسم عند دراسة الحركة بشكل أكثر تعمقاً، لذا فقد تستخدم طريقة الأشكال العضوية (Stick Figures) التي تمثل أجزاء الجسم، ثم يتم بعد ذلك توصيل هذه الخطوط ليظهر شكل الجسم على هيئة مجموعة من الوصلات الواضحة والمحددة المعالم. كما هو موضح في شكل () حيث تحدد على هذه الخطوط أماكن مراكز ثقل الأجزاء وقيم كتل هذه الأجزاء الموضحة في جدول (٢) كأساس للبدء في عمليات التحليل الدقيقة للتغيرات التي تحدث في حركات هذه الأجزاء.



شكل () (ا) الخطوط الخارجية الممثلة للجسم (ب) الأشكال العصبية
ومحدد عليها أماكن مراكز نقل الأجزاء .

التحليل الحركى باستخدام التصوير المركب :

ظهر هذا النوع من التحليل مع ظهور الحاجة إلى دراسة الخصائص التكنيكية المميزة للمهارات بمستوى دقة أعلى لمحاولة التعرف على نمذجات وعيوب طرق الأداء المختلفة للأداء ، بهدف صياغة الأهداف التدريبية والتعليمية الأساسية لهذه المهارات بشكل علمي تضمن تحقيق أعلى مستويات الأداء . فالتصوير باستخدام آلة تصوير واحدة يحقق الكشف عن حركات أجزاء الجسم على المستوى الفراغي الذي توضع آلة التصوير عمودية عليه ، ولكنه لا

يسجل ما يحدث بالنسبة للمستويات الفراغية الأخرى، فإذا ما وضعت آلة التصوير على أحد جانبي اللاعب كما هو الحال في الشكل السابق فإن التسجيل هنا سوف يتم للحركة التي تحدث على المستوى الفراغي السهمي. وبالتالي فإن التحليل هنا سوف يكون قاصراً على ما يحدث من حركة على هذا المستوى فقط. وهو بذلك يعتبر أبسط أنواع التحليل.

أما إذا كانت المهارة المراد دراستها تتم على أكثر من مستوى فراغي فإن الأمر يتطلب تزامن تسجيل حركات أجزاء الجسم على كل هذه المستويات وبالتالي لزم وضع أكثر من آلة تصوير في أوضاع عمودية على هذه المستويات الفراغية.

وهذه الحالة تعرف بالتصوير المركب أو التصوير المجمم ولا يتسع المجال لمناقشتها إجراءاتها في هذه المذكورة.

أهداف التحليل الحركي :

لهذا النوع من التحليل استخدامات متنوعة ومستويات متباعدة، وتلعب أهمية المهارة المدرosaة والمستوى المهارى المؤديها ونوع البيانات المطلوب الحصول عليها الدور الأساسى فى اختيار أى من مستويات التحليل التالية:

- ١ - التحليل بغرض التعرف على الخصائص التكنيكية للمهارة ويشترط أن تستخدم في هذا النوع عينات ذات مستويات فنية عالية.
- ٢ - التحليل بغرض الكشف عن عيوب الأداء، وهو تحليل يجرى على أفراد بعينهم للتعرف على المشكلات التى ترتبط بأخطاء أدائهم.
- ٣ - التحليل بغرض مقارنة الأداء بالمنحنيات النظرية، وهو تحليل يهدف إلى حساب القيم النظرية المحتملة فى ضوء ما يحقق اللاعب من قيم وكيفية اقتراح التعديل الفورى الذى قد يساعد فى رفع مستوى الأداء.

٤ - التحليل بغرض الدراسة النظرية لحركات النماذج واحتمالاتها الحركية.

أولاً : التحليل بغرض التعرف على الخصائص التكنيكية

يعتبر هذا النوع من التحليل من أسهل أنواع التحليل حيث تتم دراسة المسارات الحركية لأجزاء الجسم من حيث مجموعة الخصائص الميكانيكية التي تميز بها المهارة لأن تتم دراسة هذه المسارات بقوانين الحركة الخطية أو الدورانية لحساب قيم المتغيرات المميزة لها وتحديد أهم هذه الخصائص بالتعامل مع كل نقطة من النقاط المحددة على الجسم بمعادلات (الإزاحة - السرعة - العجلة).

ثانياً : التحليل بغرض الكشف عن عيوب الأداء

وهذا النوع يتميز بالمعرفة المسبقة بأهم الخصائص التكنيكية المميزة للمهارة المدروسة وقيم متغيرات هذه الخصائص على أساس أن التحليل يتم لعقد المقارنة بين ما يجب أن يكون وما هو كائن لتحديد أوجه القصور وأسبابها واقتراح الحلول لها.

ثالثاً : التحليل بغرض مقارنة الأداء بالمنحنيات النظرية

وتتمثل صعوبة هذا النوع في استنتاج المنحنيات النظرية للخصائص المراد مقارنة أداء اللاعبين بها من القيم الحقيقية التي تم الحصول عليها بالفعل وكيفية تعديل قيم هذه المتغيرات بالشكل الذي يحقق أعلى عائد حرکى يمكن أن تتحققه القيم الموجودة بالفعل سواء بالتعديل الفوري أو عن طريق، برامج إعداد بدئي تركز على هذه القيم.

رابعاً : التحليل بغرض الدراسة النظرية لحركات النماذج :

وهو أصعب أنواع التحليل وأكثرها تقدماً، حيث تتم دراسة مسارات بعض المهارات الرياضية على نماذج مصنعة، بهدف دراسة إمكانية ظهور احتمالات حركية جديدة على هذه النماذج من ناحية، وإمكانية تطبيقها على الجسم البشري من ناحية أخرى، وهنا تظهر أهمية البحث في تعديل وتطوير

طرق الأداء لعديد من المهارات الرياضية، كما أن لهذا النوع من التحليل أهميته الكبيرة فيما ظهر حديثاً من مهارات مبتكرة لم يسبق التعرف عليها من قبل كما هو الحال في رياضة الجمباز.

و هنا تجدر الإشارة إلى أنه يشترط تحديد أي نوع من هذه الأنواع المتعددة في التحليل يتاسب ونوع الدراسة، حيث إن هذا التحديد سوف يساعد في اختيار الإجراءات والخطوات المناسبة، وكقاعدة عامة، فإن هذه المستويات المختلفة للتحليل تتسلسل من حيث درجة صعوبتها وفق الترتيب السابق الإشارة إليه، ويمثل التدرج في استخدام هذه المستويات مقياساً لتطور العمل في مجال التحليل الحركي، حيث انه يرتبط بالدرجة الأولى بالإمكانات البشرية والمادية المتوفرة.

إجراءات وخطوات التحليل :

بغض النظر عن مستوى التحليل المستخدم، فإن هناك شروطاً يجب مراعاتها لتوفير أعلى مستويات الدقة في البيانات المراد الحصول عليها وتحقيق صدق و موضوعية القياس، وهذه الشروط ترتبط بإجراءات وخطوات التحليل التي يمكن تلخيصها على النحو التالي:

أولاً : تجهيزات قبل التصوير

إن الأساس في تسجيل حركة جسم اللاعب هو رصد للتغيرات الزمانية والمكانية التي تحدث في كل جزء من أجزاء الجسم بالقياس إلى نقطة مرجعية ثابتة، حيث يمكن تحديد المسارات الهندسية لأجزاء الجسم تمهيداً لدراسة تفاصيل هذه المسارات من الناحية الميكانيكية بالقوانين المناسبة لها، بعمومية كل من موضع النقط المرجعية و زمن الأداء الذي يتبع من تردد آلة التصوير.

لذا فإنه يراعى قبل بدء التصوير توفير الإضاءة التي تساعد على وضوح تسجيل عملية متابعة حركة الجسم وأجزائه. كما يراعى تحديد النقط المرجعية

بشكل واضح من خلفية التصوير وغالباً ما تستخدم مربعات لها مقاييس معروفة وهي تستخدم في ثبيت نقطة الأصل عند إجراء عملية نقل الأوضاع. ويرى البعض ضرورة تمييز مفاصل الجسم الأساسية (الكتف - المرفق - اليد - الفخذ - الركبة - القدم - إلى جانب الرأس) بوضع علامات واضحة يسهل متابعتها عند إعادة عرض الفيلم (Anatomic Land Mark) إل أنه تجدر الإشارة إلى إمكانية تحديد هذه النقط على الصور المعروضة مباشرة في حالة ضمان توافر الوضوح التام في الفيلم المستخدم.

ويحدد الهدف من دراسة المهارة القياسات الواجب تسجيلها قبل التصوير، كالطول والوزن وأطوال أجزاء الجسم... الخ. حيث يفضل تسجيل هذه القياسات في استماراة خاصة بكل لاعب تشمل كافة البيانات المحتمل الاستعانة بها في التحليل، كما تشمل بيانات خاصة بالفيلم كترتيب اللاعب وترتيب المحاولات.

ومن أهم العوامل التي تساعد في دقة بيانات هذا النوع من التحليل هو التحديد المسبق للمستوى أو المستويات الفراغية التي تم عليها حركة الجسم وأجزائه، حيث إن ذلك سوف يساعد في تحديد مكان آلة التصوير بالنسبة للمستوى الفراغي الذي يتم عليه الأداء وبحيث تسجل جميع التغيرات التي تحدث في حركة الجسم على هذا المستوى دون الوقوع في خطأ خداع البصر وبالتالي عدم دقة البيانات.

وفي الحالات المتقدمة من التحليل قد تستخدم آلة تصوير أو ثلاث تسجل كل منها بالتزامن حركة الجسم وأجزاءه على الأسطح الفراغية الثلاثة (X.Y.Z).

إلا أننا سوف نتعرض في هذه المذكرة لنماذج من مهارات تؤدي على مستوى فراغي واحد لسهولة الشرح.

ثانياً : آلة التصوير

تحدد الإمكانيات المتأحة نوعية آلة التصوير المستخدمة، فقد يستخدم البعض آلات تصوير سينمائي (٦١مم) في حين يستخدم البعض الآخر آلات تصوير سينمائي (٨٨مم) أو أى نوع آخر.

ومازال حتى الآن من المفضل استخدام آلة تصوير سينمائي (٦١مم) لوضوح الصورة وسهولة التعامل مع الفيلم وقلة التكاليف نسبياً.

ويشترط في آلة التصوير أن تكون عالية التردد، حيث تحدد طبيعة المهارة المراد دراستها سرعة التصوير المستخدمة وفي الغالب تستخدم سرعة تصوير بين (٤٨ - ٦٤ صورة) وقد تصل هذه السرعة إلى (٢٠٠ صورة/ث) أو (٥٠٠ صورة/ث) كما يراعى أن تكون العدسة ذات إمكانيات متقدمة، حيث تساعد العدسات المقربة في تلافي أخطاء التصوير خاصة في حالات التصوير عن بعد.

أما بالنسبة لوضع آلة التصوير، فيجب أن توضع عمودية على المستوى الفراغي الذي تؤدى فيه المهارة وبحيث يظهر اللاعب بحجم مناسب يسهل التعامل معه عند إعادة عرض الفيلم وبحيث تكون زاوية العدسة شاملة لحدود الأداء دون أى زيادات لتلافي أخطاء انحراف اللاعب عن المحور البؤري للعدسة عند حركه. كما يراعى وضع آلة التصوير على ارتفاع أقرب ما يكون لارتفاع مركز ثقل الجسم في حالة الوقوف العادي.

ويفضل عمل بعض القياسات الأولية لأجزاء الجسم للتأكد من أن أطوال هذه الأجزاء ثابتة على مدى مراحل الأداء مما يؤكّد أن الحركة تم على المستوى الفراغي الذي وضعت آلة التصوير عمودية عليه من ناحية، واستخدامها في حساب مقياس الرسم من ناحية أخرى.

ويعتبر حساب الزمن من أهم الحسابات التي تضمن دقة التحليل، حيث

هناك اختلافات متباعدة في الأجهزة الخاصة بتشغيل الفيلم فهناك آلات تصوير تعمل بالزمبرك وهناك آلات تعمل بحركات ذات مصدر كهربى ثابت أو متعدد، لذا فإنه من المفضل استخدام ساعة كبيرة ذات مؤشر أو أرقام تتحرك كل ($\frac{1}{10}$ ثانية) توضع في مجال التصوير، حيث تساعد هذه الطريقة في حساب الزمن والتأكد من صحة عدد الصور في الثانية وفقاً لسرعة التصوير المستخدمة عن آلة التصوير. أما بالنسبة للإضاءة، فيفضل توافر جهاز قياس كمية الضوء للاطمئنان على وضوح الفيلم عند إعادة عرضه، وبصفة عامة فإنه عند استخدام الإضاءة يفضل استخدام خمسة مصادر للضوء تثبت على حوامل متغيرة الارتفاع وموزعة على النحو التالي:

- أ - حاملان على جانبي مسار الأداء بزاوية سقوط ٤٥ درجة في اتجاه الركبتين.
- ب - حاملان على جانبي مسار الأداء بزاوية سقوط ٤٥ درجة في اتجاه الصدر.
- ج - حامل على ارتفاع كافٍ لإضاءة منطقة الرأس.

أما بالنسبة لشاشة العرض فهناك أجهزة خاصة يتم عرض الفيلم بواسطتها على شاشة صغيرة ملحقة بالجهاز بحيث يسهل نقل الأوضاع من على هذه الشاشة، كما يمكن استخدام أجهزة المنتاج ذات الشاشات في عملية التحليل. وعموماً يمكن عرض الفيلم على شاشة من الورق الأبيض المثبت جيداً على الحائط، بحيث توضع آلة العرض على مسافة محددة تظهر من خلالها صورة اللاعب في حجم يسهل رسمه مع مراعاة عدم تحريك آلة العرض طوال فترة التحليل لتشخيص مقياس الرسم ونقط الرجوع.

وهنا يكون تجميع البيانات من الفيلم عن طريق جهاز تحديد إحداثيات النقاط (digitizer) حيث يقوم هذا الجهاز بتحديد موضع كل نقطة بالنسبة للإحداثيين x . y الرئيسيين للجهاز على أن يتم اعتبار هذين الإحداثيين نقطتاً رجوع أصلية تحسب حركة كل نقطة من نقاط الجسم بالنسبة لها.

وهذه المرحلة من أدق المراحل حيث يتم تجميع البيانات عن كل صورة منفردة من الصور المراد تحليلها باستخدام آلة العرض (Projector) لتحديد إحداثيات النقاط فيها.

وأجهز تحديد إحداثيات النقاط (Digitizer) هو جهاز يستخدم في تحويل الصور والأشكال إلى معلومات رقمية أو عدبية، وعند استخدام ذلك الجهاز مع أي فيلم، توضع صورة واحدة على الجهاز، ثم يمكن رصد النقاط التي أشار إليها المدرب أو المخصص مسبقاً.

وحيث أنه توجد علامات موضوعة على جسم اللاعب Anatomic Land Mark فيمكن رصدها على المحاور (X,y) ثم تخزين ذلك على الحاسب الآلي.

وهذه العلامات لا بد أن تكون موضوعة على الشيء المراد تصويره سواء اللاعب نفسه أو ملابسه. حيث يمكن تحديد المفاصل ونهايات الأطراف بدقة.

ثالثاً : آلة العرض

هناك عدة شروط يجب مراعاتها في اختيار آلة العرض من أهمها:

- ١ - إمكانية عرض الفيلم بطريقة (صورة - صورة) دون حدوث أي تأثير على الفيلم سواء من حيث تعرضه للشد أو تعرضه للضوء لفترة طويلة.
- ٢ - توافر جهاز خاص لتحويل صور الفيلم يدوياً أو آلياً دون حدوث تغير في وضع الفيلم بالنسبة لعدسة آلة العرض وبقاء فتحة العدسة ثابتة.
- ٣ - الحركة الأمامية والخلفية للفيلم يدوياً.
- ٤ - عدد للصور إن أمكن.
- ٥ - يفضل أن تتم كل العمليات عن طريق جهاز تحكم عن بعد.

وفي كل الحالات تعتبر آلة العرض (١٦ مم أو ٨ مم) مناسبة للتحليل إذا ما توافرت فيها هذه الشروط.

رابعاً : الفيلم الخام

تحدد طبيعة المعلومات المراد الحصول عليها نوعية الفيلم المختار كما يراعى عدّة اعتبارات أساسية عند اختيار الفيلم من أهمها (نوع آلة التصوير المستخدمة - حساسية الفيلم للضوء خاصة عند استخدام سرعات تصوير عالية ونؤكّد على أن الأفلام المستخدمة في التحليل ويجب أن تكون من النوع الموجب Positive) بحيث تظهر الصورة عند إعادة العرض صورة حقيقة وليس سالبة negative.

خامساً : التحليل

بعد التأكيد من صلاحية الأفلام المستخدمة للتحليل تأتي مرحلة الخطوات التنفيذية، بمعنى تحويل ما تم تسجيله من بيانات إلى معلومات لها معانٍ لها ويمكن التعامل معها باستخدام أي من مداخل دراسة الحركة من وجهة نظر الميكانيكا الحيوية .

و قبل الدخول في تفاصيل عملية التحليل هناك بعض الموضوعات الأساسية التي يجب مراعاتها كقواعد عامة للتحليل نذكر منها.

المعلومات الأساسية في التحليل :

بالنظر إلى القوانين الميكانيكية المستخدمة في مجالات التحليل الحركي باختلاف مستوياته فسوف نجد أن هناك ثلاثة متغيرات أساسية تدخل في بناء معظم هذه القوانين ومشتقاتها بدون معرفة كل من الزمن والإزاحة والكتلة لن نتمكن من الحصول على المعلومات التي يمكن أن تسهم بقدر فعال في دراسة تفاصيل الأداء ووضع المعايير التي تحكمه .

فالسرعة والعجلة بأشكالها (خطية - دورانية) وبمكوناتها (مركبات - محصلة) هي متغيرات كينماتيكية (وصفيّة) لحركات النقط أو الأجزاء المتحركة لا يمكن الحصول عليها ودراسة تفاصيلها في غياب كل من متغيري الزمن

والإزاحة، كما أن قياسها الدقيق هو الأساس في الحصول على المعلومات الكينياتية (الكمية) لحركات النقط أو الأجزاء المتحركة كالدفع والتغير في كمية الحركة والطاقة بأشكالها.

ما سبق يتضح أن ما يتم عمله خلال هذه المرحلة من مراحل التحليل الحركي يتمثل في ضمان توافر مقاييس لعنصر الزمن وهو ما يتحققه تردد آلة التصوير، بمعنى السرعة التي تم استخدامها في التصوير، ثم تحديد النقاط المراد متابعة حركتها وتسجيل هذه الحركة بالنسبة لأحد الأسطح الفرعية لحساب متوجهاتها ومعدلاتها. هذا بالإضافة إلى توافر القيم القصورية (الكتلة - قصور الدوران) للجسم ككل وأجزائه التي يمكن الحصول عليها من جداول خاصة بعلومية وزن جسم اللاعب.

أى أن التحليل الحركي الدقيق لأى أداء رياضى يتطلب توافر العناصر الأساسية التالية:

- ١ - تسجيل مرئى للأداء المطلوب دراسته (سينما - فيديو).
- ٢ - تسجيل زمني دقيق لتفاصيل هذا الأداء.
- ٣ - وضوح الهدف الميكانيكي الأساسي (الأولى) المميز لنوع الأداء.
- ٤ - اختيار المدخل الميكانيكي (مجموعة الاجراءات الميكانيكية) المناسب للتحليل.

ولكى يتحقق الهدف المطلوب من التحليل أىً كانت الطريقة المستخدمة فإن المسألة تتطلب الإلمام التام بالعديد من التفاصيل التى ترتبط بالمبادئ الميكانيكية وعدد من العلوم الرياضية المعينة كحساب المثلثات والهندسة التحليلية والدوال ومنحنياتها الخ.

المراجع

- ١ - بسطویسی احمد بسطویسی : نظریات الحركة ، دار الفكر العربي ١٩٩٦ .
- ٢ - طلحة حسام الدين : کینسیولوچیا الرياضة ، دار الفكر العربي ١٩٨٦ .
- ٣ - طلحة حسام الدين : المکانیکا الحیویة الأسس النظریة والتطبیقیة ، دار الفكر العربي - القاهرة ١٩٩٤ .
- ٤ - طلحة حسام الدين : مبادئ التشخیص العلمی للحركة الرياضیة ، دار الفكر العربي ، القاهرة ١٩٩٥ .
- 5 - Bloom J. field , Achland T. R. Elliott B.C, Applied Anatomy and Biomechanics in Spors, Blakweell scientific Publications, Paris, Berlin, Vienna, 1994.
- 6 - Enoka, M. Roger; Newromechanical Basis of Kinesiology, Human Kinetics, 2nd ed. U.S.A 1994.
- 7 - Luttgens . K. & Wells. K; Kinesiology Scientific Basis of Human Motion, Saunders. College Publishing, U.S.A 1985.