الفصل التاسع

الكينماتيك الزاوي لحركات الإنسان

ANGULAR KINEMATICS OF HUMAN MOVEMENT

بعد إكمال هذا الفصل سيكون القارئ قادرا على:

- ✓ تمييز الحركات الزاوية عن المستقيمة والحركات الخطية المنحنية.
- ✓ مناقشة العلاقات بين متغيرات الكينماتيك الزاوية.
- ✓ تربط بشكل صحيح كميات الكينماتيك الزاوية مع وحدات قياسها.
- ✓ توضيح العلاقات بين الإزاحة الخطية و الإزاحة الزاوية،والسرعة الخطية و السرعة الزاوية و التعجيل الزاوي و التعجيل الخطي.
- ✓ حل المسائل الكمية المرتبطة بكميات الكينماتيك الزاوي و العلاقات بين كميات الكينماتيك الخطي و الزاوي.
- ✓ لماذا يرفع ضارب الكرة يديه الى أعلى مقبض المضرب لأداء الضرب و ليس لأداء الضرب القوي؟
- ✓ كيف تكون الحركة الزاوية للقرص أو المطرقة في الهواء بما يتعلق بالحركة الخطية للآلة بعد الإطلاق؟

هذه الأسئلة تتعلق بالحركة الزاوية أو الحركة النسبية حول المحور.

محور الدوران هو الخط الحقيقي أو الخيال أو العمود المنحرف إلى المستوي الذي يحدث عنده الدوران مثل محور عجلات العربة، الحركة الخطية.

- ✓ إنّ الحركة الزاوية هي المركبة أو العنصر الأساسي للحركة العامة.

ملاحظة الكينماتيك الزاوي لحركة الإنسان

OBSERVING THE ANGULAR KINEMATICS OF HUMAN MOVMENT

يعتبر فهم الحركة الزاوية مهماً جداً و خاصة لدارسي حركة الإنسان، و ذلك لأن أغلب حركات الإنسان الإرادية تستلزم دوران واحد أو أكثر من اجزاء جسم الإنسان حول المفاصل التي تتمفصل عندها.

إن حركة الجسم على العموم عند المشي تظهر عن طريق ميزة الحركات الدائرية التي تحدث في الورك، الركبة و الكاحل حول محاور الدوران الوهمية (الأمامي) المستعرض. عند أداء حركات القفز فإن كلا الذراعين و الساقين تدوران حول المحاور الوهمية الأمامية الخلفية الماره بداخل مفصلي الكتف والحوض. تحدث الحركة الزاوية مثلما تحدث الادوات الرياضية كمضارب الكَولف، و مضارب البيسبول، و عصي الهوكي.

وكما نوقش في الفصل 2، فإن الأطباء، المدربين ومعلمي التربية الرياضية يعملون على تحليل حركة الإنسان روتينياً بالاعتماد على المراقبة النظرية. مالوحظ في بعض الحالات هو نوع من الحركة الزاوية لحركة الإنسان، وبالاعتماد على مراقبة التوقيت ومعدل حركة نشاطات المفصل.فإنّ المحلل ذو التجربة يستطيع ان يضع بعض المؤشرات حول توافق العضلات الذي يؤدي إلى توليد نشاطات المفصل و القوى الناتجة من تلك النشاطات التي تحدث في المفصل.

يعتمد الكثير من الوصف المسجل لمراحل مهارات الحركة على التحليل الحركي الزاوي. فعلى سبيل المثال، فقد شخصت ثلاث مراحل تطورية لضرب الكره بين الأطفال بعمر 2–6 وقد تبين من خلال الدراسة في المرحلة الأولى يضرب الطفل الكرة مستخدما معدل قليل في حركة ثني الورك دون وجود حركة

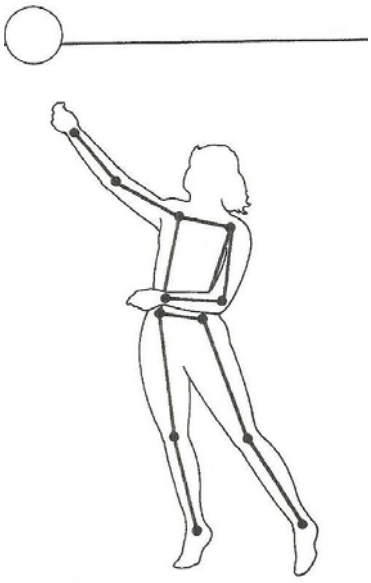
توافقية في أي من المفاصل الأخرى أما في المرحلة الثانية فهنالك تنسيق بين مد الركبة و ثني الورك. مع إبعاد الأذرع عند الأكتاف لعزيز التوازن. أمّا المرحلة الثالثة، فتتميز بثني الورك وبشكل كبير ومد الركبة، و ثني المرفق بالإضافة إلى إبعاد الكتف لتعزيز التوازن.

إنّ المحلل ذو الخبرة و المعرفة يستطيع أنْ يحصل على برنامج ضخم من المعلومات حول التطور النسبي و مستويات المهارة للرياضي المنفذ من خلال الملاحظة و المراقبة الدقيقة للحركة الزاوية.

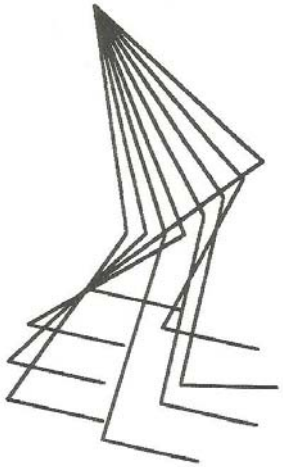
زوايا القياس MEASURING ANGLES

كما موضح في الملحق (أ) تتكون الزاوية من ضلعين يتقاطعان في النهاية. يمكن أنْ ينفذ التحليل الحركي الكمي في علم الكينماتيك بواسطة صور الرمي لجسم الإنسان على قطعة من الورق، بمراكز المفصل ثم تعلم هذه المراكز بنقاط مرتبطة بخطوط تمثل المحاور الطولية لأجزاء الجسم (الشكل 1-9).

يمكن استخدام المنقلة أو آلة قياس الزوايا لوضع قياسات يدوية لتقاطع الزوايا في هذا التمثيل، مع مراكز المفصل المشكلة لتشكيل نهايات الزوايا بين أقسام الجسم المتجاورة. (إنّ طريقة الزوايا بواسطة المنقلة معروفة في الملحق (أ).وبالإمكان تحليل التصوير الفيديوي والأفلام لحركة الإنسان يمكن تحليلها باستخدام هذه الطريقة الرئيسية لتقييم و قياس الزوايا الموجودة في مفاصل جسم الإنسان إضافة إلى الانحرافات الزاوية لأقسام الجسم وعادة ما تنفذ تحليلات الزوايا جهاز الكمبيوتر من تمثيل شكل العصا لجسم الإنسان المخطط في ذاكرة جهاز الكمبيوتر. إنّ تمثيل جهاز الكمبيوتر لحركة ساقي رياضي الدراجات المشتقة من مسارات صور السرعة العالية موضح في (شكل 2-9).



(شكل 1–9) لجسم الإنسان مراكز مفصل من نهايات زوايا أقسام الجسم



(شكل 2– 9) مخطط كمبيوتر للتغيرات الزاوية في مفاصل الورك، الركبة و الكاحل لسائق دراجات

الزوايا المطلقة والزوايا النسبية

Relative Versus Absolute Angles

يتطلب تحليل الزاوية في الفصل قياس زاوية لقسم واحد من الجسم بالمقارنة مع الجزء الآخر للجسم المتصل بالمفصل. إنّ الزاوية النسبية في الركبة هي الزاوية المشكلة و المتكونة بين المحـور الطولـي للفخذ و المحور الطولـي للساق السفلـى (شكل 3-9). عندما يقاس معدل حركة المفصل كمياً، فتلك هي زاوية المفصل النسبية التي يمكن أنْ تقاس.

إنّ التقليد المتبع لقياس زوايا المفصل النسبية هو ما معمول به في موضع الإشارة التشريحية حيث تكون جميع الزوايا في درجة الصفر ومثلما نوقش في الفصل فان حركة المفصل ستقاس بشكل مباشر. فعلى سبيل المثال عندما ترفع اليد الممدودة 30 درجة أمام الجسم في المستوى المائل، فإنّ الذراع ستكون في درجة ثني 30 عند الكتف. و عندما تبعد الساق عند الورك، فإنّ معدل حركة الإبعاد بنفس الشكل من درجات الصفر في موضع الإشارة التشريحي.

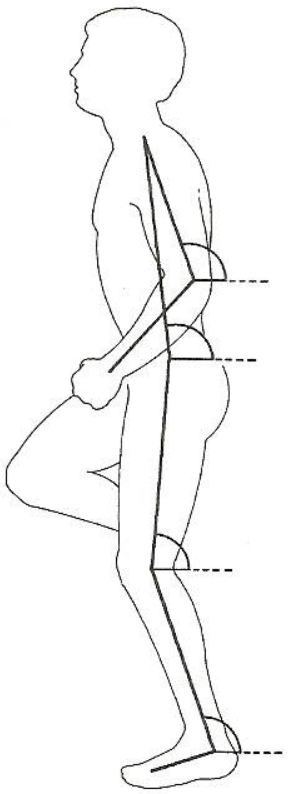
هنالك زاوية مهمة أخرى تعبر في الغالب عن انحراف أقسام الجسم ذاتها. ومثلما نوقش في الفصل 9، فعندما يكون الجذع في حالة ثني فان زاوية انحراف الجذع تؤثر بشكل مباشر على كمية القوة التي يجب أنْ تتولد عن طريق عضلات مد الجذع لإسناد الجذع في الوضع المطلوب وتشير زاوية انحناء جزء الجسم إلى زاويته الكاملة أو المطلقة وتقاس بالتناسب مع خط الإشارة المطلق أو التام العمودي أو الأفقي الشكل (4-9) يوضح مقادير زوايا القسم أو جزء الجسم بالتناسب مع العمود الأيمن .

- ✓ الزاوية النسبية Relative angle : زاوية في المفصل تتشكل بين المحور الطولي لأقسام الجسم المتجاورة.
- ✓ يجب أنْ تقاس الزوايا النسبية على نفس الجانب المعيّن.

- ✓ وضع الاستقامة الممدود بشكل كامل المفصل في المفصل يمثل درجة الصفر.
- ✓ الزاوية المطلقةAbsolute angle: هي ميل أو انثناء زاوي لجزء من الجسم بالنسبة لخط الإشارة الثابت.
- ✓ يجب أن تقاس الزوايا المطلقة الكاملة بنفس الاتجاه من الإشارة المنفردة إمّا عمودياً أو أفقياً.

(شكل 3-9) إن الزوايا التي تقاس في المفاصل هي الزوايا التي تقع بين أجزاء الجسم المتجاورة.

تقاس الزاوية النسبية في مفصل الركبة بين أجزاء الجسم المتجاورة وتقاس الزاوية المطلقة في الجذع بالتناسب مع العمود الأيمن.



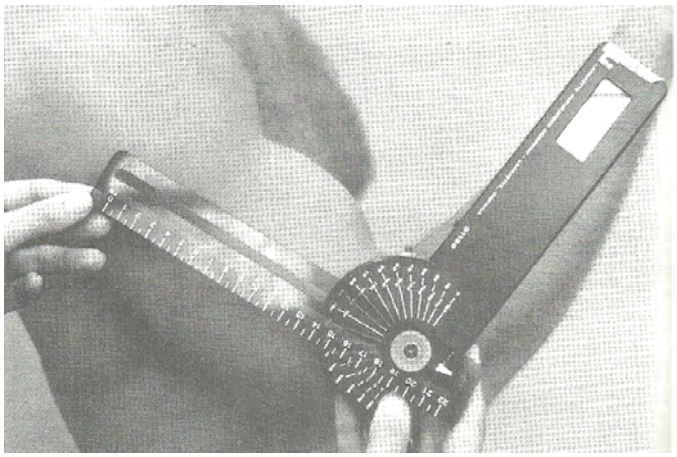
(شكل 4–9) تقاس زوايا الميل لأقسام الجسم الفردية بالتناسب مع خط الإشارة الكامل

آلات قياس زوايا الجسم Tools for Measuring Body Angles

آلة (الجينوميتر) هي الآلة الأكثر شيوعاً من حيث استخدامها من قبل الأطباء لقياس زوايا المفصل النسبية بشكل مباشر وآلة (الجينوميتر) بالأساس هي عبارة عن منقلة (آلة قياس الزوايا) ذات ذراعان طويلان متماسان أحدهما ثابت كي يمتد من المنقلة بزاوية صفر، أما الذراع الآخر فيمتد من مركز المنقلة عبارة عن ذراع حر لكي يمكن تدويره ويمتد مركز النقلة على فوق مركز المفصل، إمّا الذراعان فيمتدان فوق المحور الطولي لقسمي الجسم اللذان يتصلان عند المفصل.

ومن ثم تقرأ الزاوية عند تقاطع الذراع الحر و مقياس المنقلة اما عملية ضبط القراءة فتعتمد على ضبط موقع (الجينوميتر).

إنّ معرفة تشريح المفصل ضرورية لمعرفة المكان المناسب لمركز دوران المفصل. اما عملية تثبيت العلامات فوق الجلد لتحديد موقع مركز الدوران في المفصل و المحور الطولي لقسمي الجسم قبل وضع (الجنيومتر) فيمكن ان تكون نافعة ومفيدة. في بعض الأحيان هنالك آلات أخرى متوفرة لقياس الزوايا النسبية في جسم الإنسان مثل جهاز (الالكتروجنيومتر) وجهاز لايتون فلكسومتر وقد طور جهاز الالكتروجنيومتر عن طريق karpovich في اواخر العام 1950 وهو عبارة عن جهاز (الجنيومتر) مبسط في نهايتيه مؤشر كهربائي وعندما تتصل ذراعي هذا الجهاز بشريط فوق مركز المفصل، فإن التغيرات في الزاوية النسبية في المفصل تسبب تغييرات تناسبية في التيار الكهربائي الصادر عن الجهاز. تسجل هذه التغييرات على خارطة متحركة، التي تؤشر فيها الزاوية الموجودة في المفصل بالتناسب مع الزمن عند الحركة. آلة أخرى تستخدم في التحليل المباشر لزوايا جسم الإنسان و هي (Leighton flexmeter) وهي عبارة عن أداة لقياس الزوايا المطلقة لانحراف جزء الجسم المربوط او المتصل.



(الجينوميتر).
يستعمل لقياس
زوايا المفصل

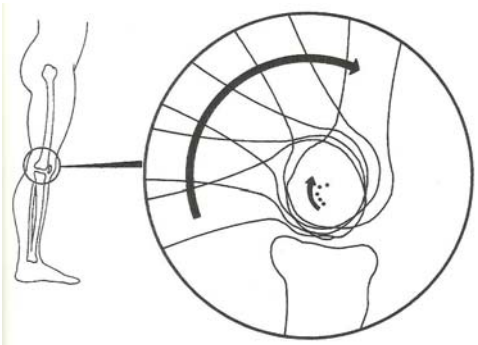
دوران المركز الاني Instant Center Of Rotation

تعتبر عملية قياس زوايا المفصل عملية معقداً و ذلك لحقيقة أنّ الحركة في المفصل تكون في الغالب مصحوبة بإزاحة عظم واحد مرتبط مع العظم المتمفصل في المفصل.

وتحدث هذه الظاهرة بسبب الاختلافات الطبيعية في أشكال سطوح العظم المفصلية و مثال ذلك المفصل الفخذي- الضنبوبي و الذي تكون فيه حركة الدوران الوسطي و الحركة الأمامية للفخذ على النتوء الضبوبي مصحوبة بالثني (شكل 5-9).

وكنتيجة فإن موضع دوران المركز الدقيق في المفصل يتغير قليلا عندما تتغير زاوية المفصل. إنّ مركز الدوران في زاوية المفصل المحددة أو في لحظة معينة من الزمن خلال الحركة، يطلق عليها (المركز الحالي أو الآني).

إنّ الموقع الدقيق للمركز الآني لمفصل معين يمكن أنْ يحدد من خلال قياسات مأخوذة من (x-rays) و التي عادة ما تكون في فترات زمنية 10 درجات خلال معدل من الحركة في المفصل.



شكل 5-9 ممر المركز الآني في الركبة خلال ثني الركبة

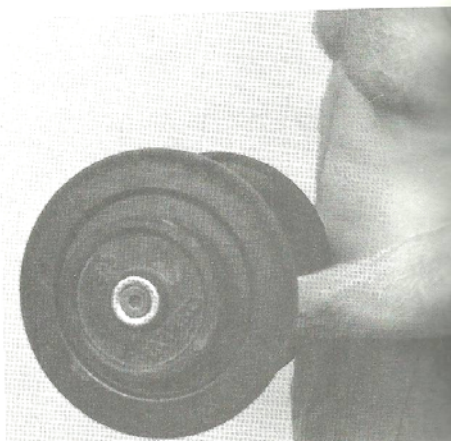
- ✓ المركز الآني أو الفوريinstant center : موقع مركز الدوران في المفصل في لحظة زمن محددة.

علاقات الحركة الزاوية ANGULAR KINEMATIC RELATIONSHIPS

إنّ العلاقات الداخلية بين الكميات في الكينماتيك هي علاقات متشابهة لتلك التي نوقشت في الفصل 10 للكميات الحركية المستقيمة. و على الرغم من أن الوحدات المختلفة للقياس مرتبطة بالكميات الحركية الزاوية بنظيراتها المستقيمة، فإن العلاقات بين الوحدات الزاوية موازية لتلك الموجودة بين الوحدات الخطية المستقيمة.

الإزاحة و المسافة الزاوية Angular Distance and Displacement

فيما يتعلق بمرجحة البندول المتأرجح خلفاً وصعودا من نقطة الإسناد. يدور البندول حول محور يمر داخل نقطة الإسناد العمودية على مستوى الحركة. فإذا تأرجح البندول بقوس 60 درجة، فانه سيتأرجح بمسافة زاوية بـ 60 درجة. فإذا تأرجح البندول بعد ذلك خلفاً 60 درجة إلى موضعه الأصلي، فإنه قد نقل مسافة زاوية مجموعها 120 درجة (60°+60°)، وحسب مسافة الزاوية على أنها مجموع التغيرات الزاوية المتحققة عن طريق دوران الجسم ويمكن استخدام نفس الطريقة لحساب المسافات الزاوية التي تتحرك خلالها أجزاء جسم الانسان ففي حالة تغير زاوية المرفق من صفر إلى 100 درجة خلال مرحلة الثني في تمرين لف الساعد، فان المسافة الزاوية المتحققة ستكون درجة 100



عندما يوجه الذراع إلى وضعه الأصلي في تمرين اللف فان الإزاحة الزاوية في المرفق ستكون صفرا.

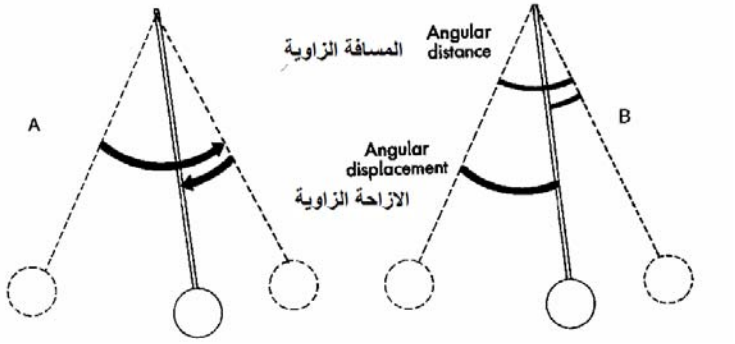
اما في حال عودة المرفق إلى وضعه الطبيعي زاوية الصفر، فانها ستكون قد قطعت ناتجة مسافة زاوية كلية 200 درجة لإكمال اللف. فإن كانت هنالك 10 لفات، فإن المسافة الزاوية المسجلة ستكون 1000° (10×100°).

إنّ الإزاحة الزاوية هي عبارة عن الاختلاف بين السرعة الأولية و السرعة النهائية لحركة الجسم. إذا كانت زاوية الركبة للساق القائدة من 5 درجة إلى 12 درجة خلال مرحلة الإسناد الأولية للركض، فإن المسافة الزاوية و الإزاحة الزاوية في الركبة هما 7 درجات. إذا حدث المد في الركبة، رجوع المفصل إلى وضع الأصلي، فمجموع المسافة الكلية 14° (7+7)، و لكن الإزاحة الزاوية ستكون صفراً بسبب الوضع النهائي للمفصل هو نفسه في موضعه الأصلي.إنّ العلاقة بين المسافة الزاوية و الإزاحة الزاوية ستوضح في (شكل 6–9) تعرف الإزاحة الزاوية مثلما تعرف للإزاحة الخطية المستقيم، فإن للإزاحة الزاوية كل من المقدار و الاتجاه. و بما أنّ الدوران الذي يشاهد من الجانب يحدث إمّا باتجاه عقرب الساعة أو عكس عقرب الساعة، فان اتجاه الحركة الزاوية تحديدها باستخدام مثل هذه المصطلحات يرمز لاتجاه عكس عقارب الساعة بالموجب (+) و بالاتجاه

السالب (–) باتجاه عقرب الساعة (شكل 7–9). أما باستخدام جسم الإنسان فمن المناسب أنْ نشير اصطلاحيا او فنيا إلى اتجاه الإزاحة الزاوية بقدر ارتباطها بالمفصل مثل حركة الثني أو الإبعاد.

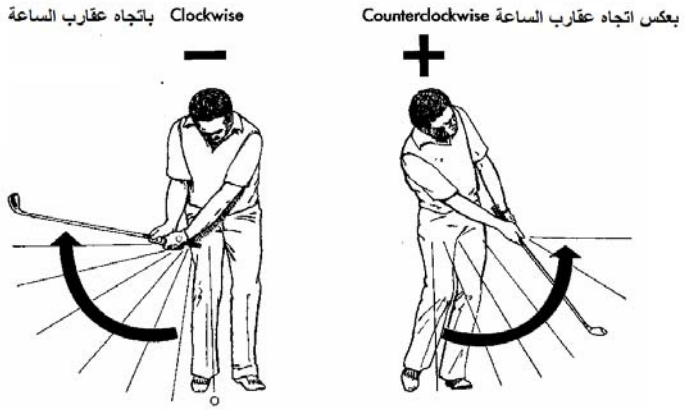
هنالك ثلاث وحدات للقياس شائعة وتستخدم في تمثيل المسافة الزاوية والإزاحة الزاوية وأكثرها شيوعا هي الدرجة.

- ✓ الإزاحة الزاوية Angular Displacement: هي معدل التغير في الموضع الزاوي.
- ✓ يشير اتجاه عكس عقرب الساعة إلى الموجب، واتجاه عقرب الساعة إلى السالب.



(شكل6–9) A– مسار حركة مسار مرجحة البندول

B– إنّ المسافة الزاوية هي مجموع التغيرات الزاوية التي تحدث، الإزاحة الزاوية هي الزاوية بين الموقعين الأولي و النهائي.

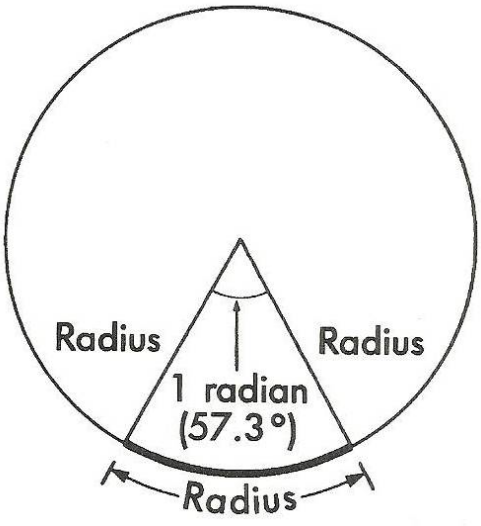


شكل 7–9 يحدد اتجاه الحركة الدورانية عكس عقرب الساعة (موجب) و مع عقرب الساعة (سالب).

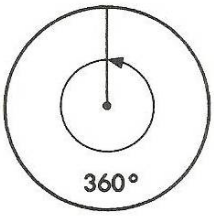
يسجل دوران الدائرة الكاملة قوساً مقداره 360 درجة، قوس 180 درجة فيتخذ خطاً مستقيماً، و درجة 90° تشكل الزاوية القائمة بين الخطين العموديين (شكل 8–9).

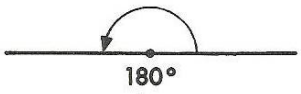
هنالك وحدة أخرى للقياس الزاوي تستخدم في التحليل الحركي و هي (radian) نصف القطر وهي عبارة عن خط يربط مركز الدائرة إلى أي نقطة إلى محيط الدائرة هو نصف القطر. تعرف radian على أنها حجم الزاوية المشكلة في مركز الدائرة بواسطة قوس مساو لطول نصف قطر الدائرة (شكل 9–9) يساوي واحد radian 57,3 درجة. و لأن هذه الوحدة أكبر بكثير من الدرجة، فهي وحدة أكثر ملائمة و مناسبة لتمثيل المسافات او الإزاحات الزاوية الكبيرة جداً.

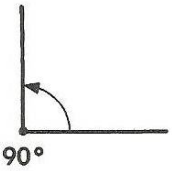
radian: و هي عبارة عن وحدة قياس زاوية وتستخدم في التحويل الكمي الخطي– الزاوي وتساوي 57.3 درجة.



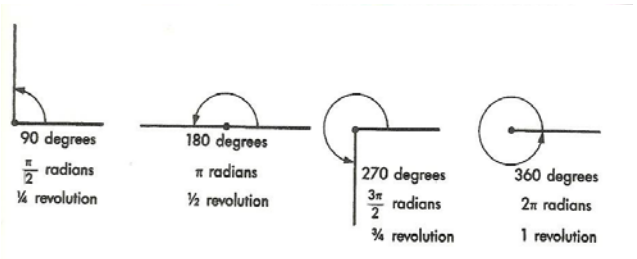
شكل 8-9 زوايا تقاس بالدرجات







تعرف وحدة radian على أنها حجم الزاوية المتكونة في مركز الدائرة بواسطة قوس يساوي طول نصف قطر الدائرة.



شكل 9-9 مقارنة للدرجات، المحيط، و الدورات الكاملة

والراديون radian هو مضاعف (pi،) وهي عبارة عن كمية رياضية تساوي تقريبا 3.14والتي تساوي نسبة محيط الدائرة الى محيطها،فدائرة كاملة تساوي قوس من اثنين radian 2 .

تستخدم في بعض الأحيان الوحدة الثالثة لحساب كمية المسافة أو الإزاحة الزاوية و هي الدورة، دورة واحدة تسجل قوساً مساوياً للدائرة فغالبا توصف مهارات الجمباز و الغطس بعدد الدورات جسم الإنسان عن الأداء.القلبة الهوائية غطس أماماً دورة ونصف هي عبارة عن مثال وصفي.(شكل 9-9) يوضح الطريقة،الدرجات، المحيطات والدورات كوحدات لقياس الزاوية.

السرعة و سرعة الانطلاق الزاوي Angular speed and Velocity

إنّ السرعة الزاوية هي عبارة عن كمية قياسية و تعرف بأنها المسافة الزاوية المقطوعة مقسومة على الفترة الزمنية التي تحدث عندها الحركة.

$$\text{السرعة الزاوية} = \frac{\text{المسافة الزاوية}}{\text{التغير في الزمن}}$$

$$\sigma = \frac{\phi}{t}$$

الحرف الصغير (σ) يمثل السرعة الزاوية، و يمثل الحرف الصغير (ϕ) المسافة الزاوية و حرف (t) يمثل الزمن.

تحسب السرعة الزاوية بحساب التغير في الموقع الزاوي أو الإزاحة الزاوية التي هي تحدث خلال فترة زمنية معينة.

$$\text{السرعة الزاوية} = \frac{\text{التغير في الموقع الزاوي}}{\text{التغير في الزمن}} = \omega = \frac{\Delta \text{الموقع الزاوي}}{\Delta \text{ن}}$$

$$\omega = \frac{\Theta}{\Delta t}$$

- ✓ السرعة الزاوية Angular velocity: عبارة عن معدل التغير في المكان أو الموقع

يمثل الحرف الإغريقي ω السرعة الزاوية، أمّا الحرف الإغريقي Θ فيمثل الإزاحة الزاوية. هنالك طريقة أخرى للتعبير عن التغير في الموقع الزاوي و هي الموقع الزاوي2 – الموقع الزاوي1. يمثل الموقع الزاوي1 مكان الجسم في المنطقة الأولى في زمن معين والموقع الزاوي الثاني يمثل موقع الجسم في النقطة التالية:

$$\omega = \frac{\text{الموقع الثاني}_2 - \text{الموقع الأول}_1}{\text{ن}_2 - \text{ن}_1}$$

ونتيجة لاعتماد السرعة الزاوية على الإزاحة الزاوية. فيجب أنْ تتضمن تحديد الاتجاه (مع أو عكس عقرب الساعة، سالب أو موجب) الذي تحدث عنده الإزاحة الزاوية.

إنّ وحدات السرعة الزاوية و الإزاحة الزاوية هي عبارة عن وحدات المسافة الزاوية و الإزاحة الزاوية مقسومة على وحدات الزمن. الوحدة الأكثر استخداماً للزمن الثانية. اما بالنسبة لوحدات السرعة الزاوية و سرعة الانطلاق الزاوية فهي الدراجات لكل ثانية، تتضمن radian لكل ثانية ،الدوران لكل ثانية و الدورات لكل دقيقة.

إنّ حركة أجزاء الجسم بمعدل عالي من السرعة الزاوية هي صفة الأداء المهاري في العديد من أنواع الرياضات فقد سجل الكثير من السرعات الزاوية في مفاصل ذراع الرمي للاعبي البيسبول لتصل 6180 درجة/ث، (107,9 نصف قطر/ث) من الدروان الداخلي في الكتف و ما يقارب 4595درجة/ث (80,2نصف قطر/ث) في مد المرفق. أوضحت دراسة المقارنة بين رمي الكرة السريعة و الكرة المنحنية بين أعضاء لاعبي الفريق الأسترالي الوطني وتبين بأنّ معدل السرعات الزاوية في الرسغ 3,1 نصف قطر/ث و 5,8 نصف قطر/ث لرمي الكرة السريعة و رمي الكرة المنحنية على التوالي. سرعة زاوية للمضرب خلال ضربات التنس المنفذة بواسطة لاعبات التنس الإناث، أظهرت تماما بأنّ المعدل بين 1900 إلى 2200 درجة/ث (133,2 إلى 38,4 نصف قطر/ث) قبل اصطدام الكرة.

عندما يصبح جسم الإنسان في الهواء كمقذوف عند أداء القفز، فإن ارتفاع القفز هو الذي سيحدد مقدار الزمن الذي سيستغرقه الجسم في الهواء عندما يؤدي المتزلجين حركة محورية ثلاثية بالمقارنة مع حركة المحور الواحد للفرد والمحور المزدوج فهذا يعني بأنه أمّا أنْ تكون السرعة الدائرية أو ارتفاع القفز كبيراً جداً وتشير قياسات هذين المتغيرين الى ان زيادة الزيادة التي ستحصل هي السرعة الزاوية للزلاج.

ان الزلاجون المهرة يدورون أجسامهم بزيادة 5 دورات في الثانية عند الطيران خلال الوثب ثلاثي المحور،وقد سجلت السرعات الدورانية العالية للجسم مع زيادة صعوبة المهارة بين رياضيي الجمباز بقيم متمثلة بدرجة6,80 نصف قطر/ث لمرونة اليد و 7077 نصف قطر/ث لمرونة اليد مع قلبه هوائية و نصف لفة و 10,2 نصف قطر/ث للقلبة الهوائية الخلفية مع لفتين.

التعجيل الزاوي Angular Acceleration

التعجيل الزاوي هو معدل التغير في السرعة الزاوية أو التغير في السرعة الزاوية في فترة زمنية معينة. الرمز الاصطلاحي للتعجيل الزاوي هو الحرف الإغريقي (α)

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

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t2 - t1}$$

تمثل $\omega 1$ السرعة الزاوية في نقطة أولية في الزمن الأول و تمثل $\omega 2$ السرعة الزاوية في الثانية أو النقطة النهائية من الزمن2 (t1،t2 يمثل الزمن الاول والزمن الثاني) استخدام هذه الصيغة موضح في المسألة في الشكل 10-9.

تماماً مثلما هو في التعجيل الخطي، فالتعجيل الزاوي يمكن أنْ يكون موجباً أو سالباً، أو صفراً. فعندما يكون التعجيل الزاوي صفراً، فإن السرعة الزاوية تكون ثابتة. و تماماً مثلما هو في التعجيل الخطي، فإن التعجيل الزاوي الموجب سيشير إمّا إلى زيادة السرعة الزاوية في الاتجاه الموجب أو انخفاض السرعة الزاوية في الاتجاه السالب. بنفس الشكل فإن القيمة السالبة للتعجيل الزاوي ستمثل إمّا انخفاض السرعة الزاوية بالاتجاه الموجب أو زيادة السرعة الزاوية بالاتجاه السالب.

إنّ وحدات التعجيل الزاوي هي وحدات السرعة الزاوية مقسومة على وحدات الزمن.

الأمثلة العامة هي الدرجات لكل ثانية مربعة (درجة/ث2)، أنصاف الأقطار لكل ثانية مربعة (نصف القطر/ ث2)، و الدورات لكل ثانية تربيع (دورة/ ث2).وحدات الكميات الحركية الزاوية و الخطية متناسبة في اللائحة.

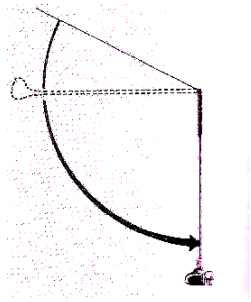
عوامل الحركة الزاوية Angular Motion Vector

نتيجة لتمثيل الكميات الزاوية باستخدام رموز كالأقواس المنحنية تقريباً ستكون غير عملية. الكميات الزاوية تمثل بمتجهات مستقيمة تقليدية باستخدام ما يطلق عليه (قاعدة اليد اليمنى) ، استناداً إلى هذه القاعدة، عندما تكون أصابع اليد اليمنى ملتفة باتجاه حركة زاوية، فإن المتجه المستخدم لتمثيل الحركة يكون مائلاً عمودياً إلى مستوى أو محور الدوران في اتجاه نقاط الإبهام المحددة(شكل 11-9) .

إن مقدار الكمية يجب أنْ يؤشر من خلال نسبة طول المتجه أو المؤشر اضافة الى ذلك، يجب أنْ نلاحظ بأنّ متجهات الحركة الزاوية لا يمكن أنْ تضاف باستخدام طريقة القمة- إلى- النهاية الموصوفة في الفصل 3 بما أنّ الحركة الزاوية لا يمكن أنْ تمثل في كميات متجه حقيقية.

- ✓ إنّ حركة الإنسان نادراً ما تتطلب سرعة ثابتة أو تعجيلاً ثابتاً.
- ✓ قاعدة اليد اليمنى right hand rule: وهي عبارة عن إجراء لتحديد اتجاه مؤشر الحركة الزاوية.

شكل 10–9 مضرب كَولف تأرجح بمعدل تعجيل زاوي و قدره 1,5 نصف قطر/ ث2، ما هي السرعة الزاوية للمضرب عندما يضرب الكرة في نهاية مرجحة 0,8 ثانية؟ أعط جواباً بكلتيّ وحدات المحيط و الدرجة بالوحدات.



المعلوم

ت = 1,5 نصف القطر/ ث2

ن = 0,8 ث

الحل:

الصيغة التي يجب استخدامها هي صيغة المعادلة التي تتعلق بالتعجيل الزاوي، السرعة الزاوية و الزمن:

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t}$$

التبديل في الكميات المعلومة، ينتج الآتي:

$$\text{١,٥ نصف القطر/ث٢} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\text{٠,٨ ث}}$$

يجب أنْ نستدل بأنّ السرعة الزاوية للمضرب في بداية المرجحة هي صفر:

$$\text{١,٥ نصف القطر/ث٢} = \frac{\omega_2 - \text{صفر}}{\text{٠,٨ ث}}$$

ω = 1,2 نق/ث

الدرجة بالوحدات

ω_2 =(1,2نق/ث)(57,3درجة/نق)

السرعة الزاوية = 68,8 درجة/ث

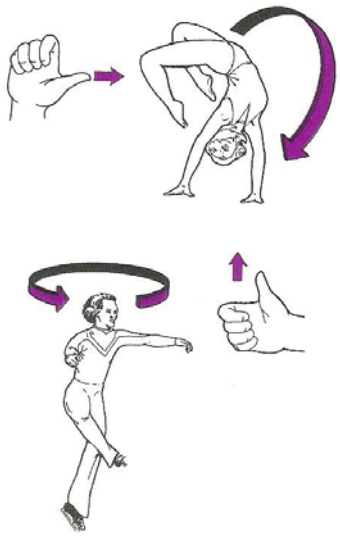
معدل الكميات الآنية الزاوية المضادة

Average Versus Instantaneous anguler Quantités

يمكن حساب السرعة الزاوية، سرعة الانطلاق و التعجيل بقيم ذات معدل، او تحسب بقيم انية بالاعتماد على طول الفترة الزمنية المحددة. تكون السرعة الزاوية الفورية لمضروب البيسبول في لحظة الاتصال بالكرة أكثر أهمية من معدل السرعة الزاوية للمرجحة وذلك نتيجة للتأثير المباشر على سرعة الكرة الناتجة.

وحدات القياس الشائعة

	الإزاحة	السرعة	التعجيل
المستقيمة	الأمتار	الأمتار/ثانية	الأمتار/ث2
الزاوية	نصف قطر	نصف قطر/ث	نصف القطر/ث2



شكل 11-9 متجه الحركة الزاوية مائل عمودياً إلى الإزاحة الخطية من نقطة دوران الجسم

RELATIONSHIPS BETWEEN LINEAR AND ANGULAR MOTION

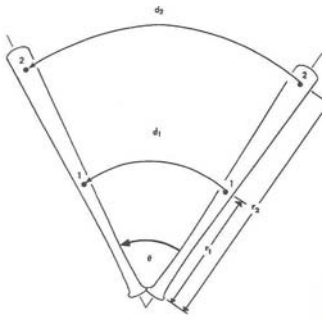
الإزاحة الزاوية و الخطية linear and angular Displacement

تعين المسافة الأكبر لنقطة لجسم يدور من محور الدوران وهي الإزاحة الخطية الأكبر التي تقطع عن طريق تلك النقطة (شكل 12–9). هذه الملاحظة يمكن أنْ يعبر عنها بالصيغة المبسطة للمعادلة الآتية:

$$d=r\Theta$$

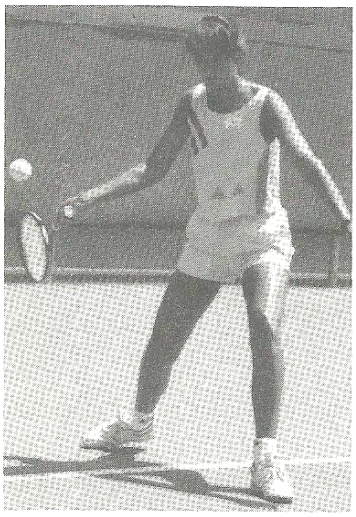
حرف d يشير إلى الإزاحة الخطية، و حرف r يمثل نصف قطر دوران النقطة (مسافة النقطة من محور الدوران)، أمّا الرمز Θ فيشير إلى الإزاحة الزاوية لدوران الجسم و التي تكون كميتها بأنصاف الأقطار.

- ✓ نصف قطر Radius of rotation: و هو عبارة عن المسافة من محور الدوران حتى نقطة التأثير على دوران الجسم



شكل 12–9 إن نصف القطر الأكبر للدوران (r) يمثل اكبر ازاحة خطية لنقطة على الجسم الدائر.

ولتصبح هذه العلاقة صحيحة، يجب أنْ يلتقي هذين الشرطين: يجب ان تحسب الإزاحة الخطية و نصف قطر الدوران بنفس وحدات الطول، أما الإزاحة الزاوية فيجب أن يعبر عنها بأنصاف الأقطار، و على الرغم من أنّ وحدات القياس موزونة بشكل اعتيادي على الجوانب المتقابلة لإشارة المساواة عندما يعبر عن العلاقة الصحيحة فهذه ليست هي المسالة واقعا فعندما يكون نصف قطر الدوران (المعبر عنه بالأمتار) مضروباً بالإزاحة الزاوية في أنصاف الأقطار، فإن النتيجة ستكون إزاحة خطية مستقيمة بالأمتار، تحذف أنصاف الأقطار على الجانب الأيمن من المعادلة في هذه الحالة. لان ومثلما لوحظ من تعريف نصف القطرradian، فإن نصف القطر يخدم في هذه الحالة كعامل تحويل بين القياسات المستقيمة و الزاوية.



التوقيت جدا مهم في ضربات كرة التنس ،فإذا كانت الكرة قريبة او متأخرة في لحظة الاتصال مع المضرب قد تخرج خارج حدود الملعب

يوجد نفس النوع من العلاقة بين السرعة الزاوية لدوران الجسم و السرعة الخطية لنقطة معينة على الجسم في لحظة معينة من الزمن. يعبر عن العلاقة كالآتي:

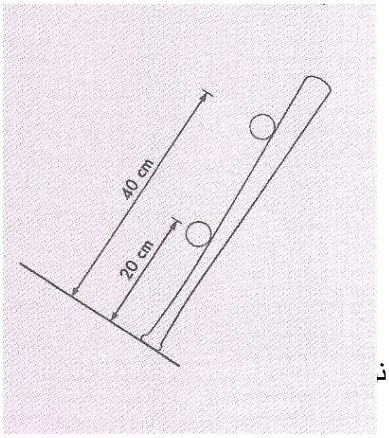
س = نق × السرعة الزاوية

$v=r\omega$

إنّ السرعة المماسية الخطية لنقطة التاثير هي (V)، إمّا حرف R فيعني نصف قطر الدوران لتلك النقطة، أمّا رمز ω فيعني السرعة الزاوية لدوران الجسم، ولتصبح هذه المعادلة صحيحة فيجب أن يعبر عن السرعة الزاوية باستخدام بنصف القطر (نق/ث) بالوحدات ونموذجيا باستخدام نق/ث يجب أن يعبر عن السرعة بوحدات نصف قطر الدوران مقسومة على الوحدات وهي المناسبة للزمن ومرة ثانية تستخدم أنصاف الأقطار كعامل تحويل زاوي–خطي وهي غير متوازنة على الجوانب المقابلة في إشارة التساوي.

م/ث/ =(م) (نق/ث)

شكل 13–9 كرتي بيسبول يضربن المضرب بالتعاقب، تضرب الكرة الأولى على بعد 20سم من محور دوران المضرب. وتضرب الكرة الثانية على بعد 40سم من محور دوران المضرب. فإذا كانت السرعة الزاوية للمضرب 30نق/ث في اللحظة التي تصل فيها لكلتا الكرتان. فما هي السرعة (الخطية)المستقيمة للمضرب في نقطتي الاتصال؟



المعلوم

نق1=20سم

نق2= 40سم

السرعة الزاوية1 = السرعة الزاوية2 = 30 نق

الحل

الصيغة التي يجب استخدامها هي المعادلة المرتبطة بالسرعات الزاوية

(س) السرعة = نق × السرعة الزاوية

<u>للكرة الأولى</u>

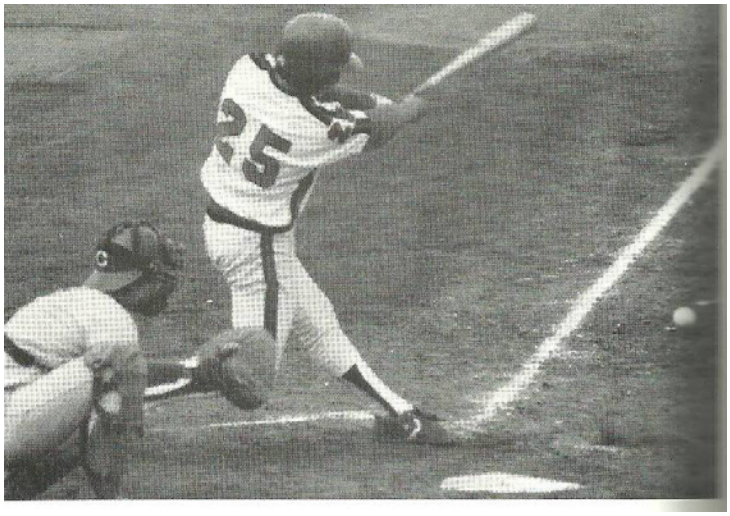
س1 = (0,20م)(30نق/ث)=6م/ث

<u>للكرة الثانية</u>

س2 = (0,40م)(30نق/ث) =12م/ث

استخدام وحدات أنصاف الأقطار للتحويل بين السرعات الزاوية و الخطية موضحة في الشكل( ) في العديد من السباقات الرياضية يكون هدف الانجاز الاني هو توجيه المادة أو الشيء كالكرة والريشة، أو كرة الهوكي، بشكل دقيق في الوقت الذي يتم فيه تحويل كمية كبيرة نسبياً من السرعة لها من مضرب الريشة

أو مضرب الكرة أو مضرب كرة الهوكي أو عصا الهوكي. في لعبة البيسبول وعند الكره يتوجب ان يكون هنالك توقيت دقيق في بداية مرجحة المضرب والسرعة الزاوية للمرجحة لاحداث الاتصال بالكرة وتوجيهها نحو المكان المطلوب.



السرعة الزاوية الأكبر لمضرب البيسبول. ستنتقل الكرة المضروبة إلى المكان الأبعد. شروط أخرى يجب أنْ تكون موجودة.

رمية بسرعة 40م/ث تصل الى الضارب في 0,41 ثانية بعد ترك يد الرامي. فمن المتوقع ان فارق 0,001 ثانية من زمن بدء المرجحة يمكن أنْ يحدد ان كانت الكرة متجهة إلى منتصف الساحة أو اسفل خط منطقة ارتكاب الخطأ وأنّ المرجحة ان بدأت في الثانية 0,003 بشكل مبكر أو متأخر جداً ستحدث دون وجود اتصال مع الكرة بوجود كل العوامل الأخرى فان اكبر نصف قطر للدوران تضرب عنده الأداة المتأرجحة الكرة هو اكبر سرعة زاوية منقولة إلى المضرب.

ففي لعبة الكولف، تنتقى المضارب الطويلة لأداء الضربات الطويلة، و تنتقى المضارب الصغيرة لاداء الضربات القصيرة. واضافة الى ذلك فإن مقدار السرعة الزاوية بنفس أهمية نصف قطر الدوران في تحديد السرعة الخطية في نقطة

معينة فوق الآلة المتأرجحة وغالباً ما يختار الرياضيين النخبة المضارب الطويلة، و ذلك لأنها تزيد نصف قطر الدوران بشكل كبير عند الاتصال بالكره و لكنها في الوقت نفسه أثقل بالنسبة للاعبين الصغار عند مرجحتها بنفس السرعة في حالة استخدام المضارب الأقصر.

إن العلاقة بين نصف قطر الدوران لنقطة الاتصال بين الأداة المنطلقة و الكرة و وسرعة الكرة الناتجة موضحة في (شكل11-15)

من الضروري أنْ ندرك بان السرعة الخطية للكرة المضروبة بواسطة المضرب في كرة الطاولة أو عصا البيسبول أو مضرب الهوكي هي ليست مشابهه للسرعة الخطية لنقطة الاتصال فوق الأداة المتأرجحة. هنالك عوامل أخرى مثل توجيه الضرب و مرونة الصدمة يمكن أن يكون لها تأثير على سرعة الكره.

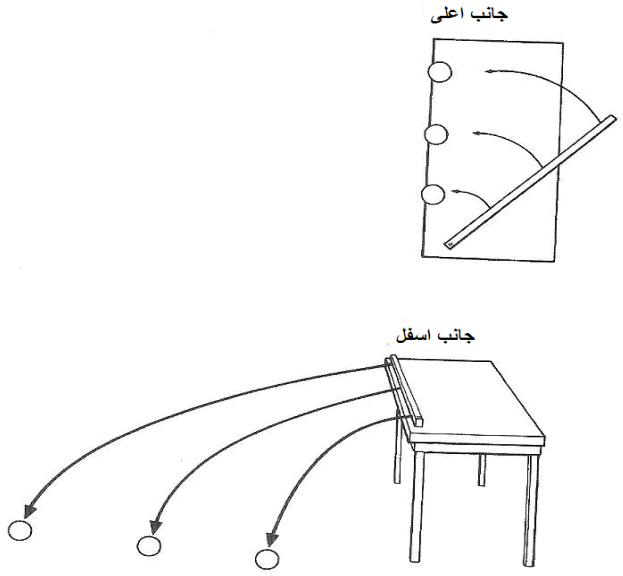
التعجيل الزاوي و التعجيل الخطي Liner and Angular Acceleration

إنّ تعجيل الجسم في الحركة الزاوية يمكن أنْ يحلل إلى مركبتي تعجيل خطيتين عموديتين. تكون هاتان المركبتان متجهتان على طول و عموديتان مع مسار الحركة الزاوية في أي لحظة من الزمن (شكل 14-9)

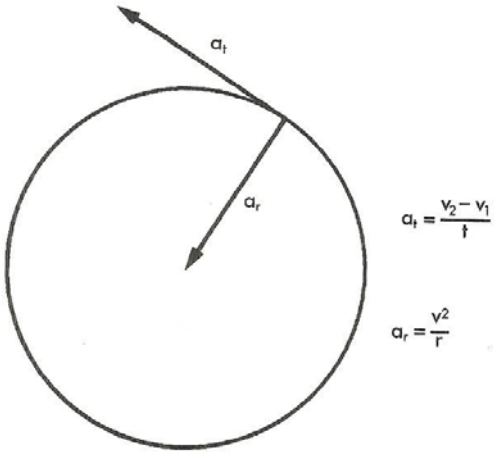
تأخذ المركبة المتجهة على طول مجرى الحركة الزاوية اسمها من مصطلح (tangent) و الذي يعني المماس. و المماس هو عبارة عن الخط الذي يمس والذي لا يعبر المنحني في أي نقطة معينة. تعرف المركبة المماسية بالتعجيل المماسي tangential acceleration والذي يمثل التغير في السرعة الخطية للجسم المتحرك بمسار منحني. تكون صيغة التعجيل المماسي كالآتي:

$$at = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

- ✓ التعجيل المماسي tangential acceleration : هو عبارة عن مركبة من التعجيل الزاوي والتي تتجه على طول مماسي لمسار الحركة الذي يمثل التغير في السرعة الخطية



شكل 14–9 تجربة بسيطة فيها تضرب عصا في حالة دوران ثلاث كرات توضح أهمية نصف قطر الدوران



شكل 15–9 متجها التعجيل القطري و المماسي موضحان بالتناسب مع المسار الدائري للحركة

يرمز للتعجيل المماسي at ، v يشير إلى السرعة الخطية المماسية في وقت بدء حركة الجسم اما v فيشير هذا الرمز إلى السرعة الخطية المماسية لحركة الجسم في الوقت التالي او الثاني وحرف Tيشير إلى فترة الوقت تبقى عندها سرعات حركة الجسم.عندما ترمى كرة ،فالكرة تأخذ مسارا منحنيا بينما يتزايد تعجيلها باستخدام العضلات في الكتف والمرفق والرسغ.المركبة المماسية لتعجيل الكرة ستمثل معدل التغير في السرعة الخطية للكرة.ونتيجة لان سرعة الرمي تؤثر بشكل كبير على مدى المقذوف فان السرعة المماسية يجب ان تكون في أقصاها تماما قبل إطلاق الكرة إذا كان الهدف هو رمي الكرة بشكل سريع ا والى مكان بعيد.

وحال إطلاق الكرة فان التعجيل المماسي سيكون صغيرا وذلك لان الرامي لا يستعمل قوته لفترة أطول. يعبر عن العلاقة بين التعجيل المماسي والتعجيل الزاوي كالتالي:

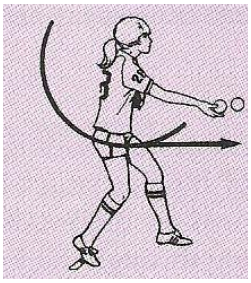
$at=r\alpha$

يشير حرف at إلى التعجيل الخطي وحرف r يشير إلى نصف قطر الدوران وحرف α يشير إلى التعجيل الزاوي. ويتوجب أن تكون وحدات التعجيل الزاوي ونصف قطر الدوران مناسبة ويجب ان يعبر عن التعجيل الزاوي بوحدات نصف القطر حتى تصبح العلاقة دقيقة على الرغم من ان السرعة الخطية لأية مادة تنتقل على طول مسار منحني فاتجاه حركتها يتغير باستمرار اما المركبة الثانية للتعجيل الزاوي فتمثل معدل التغير لاتجاه الجسم في الحركة الزاوية ويطلق على هذه المركبة بالتعجيل القطريradial acceleration وهي تتجه على الدوام نحو مركز المنحني ويمكنان تحسب باستخدام الصيغة التالية : $ar = v2/r$

يشير ar إلى التعجيل القطري ، v يشير إلى السرعة الخطية المماسية لحركة الجسم وحرف r يشير إلى طول نصف قطر الدوران ان الزيادة في السرعة الخطية او الانخفاض في نصف قطر المنحني سيزيد من التعجيل القطري،ولهذا فان نصف القطر لمنحنى الاصغر (المنحنى الاكثر ضيقا) هو المسار الأكثر صعوبة بالنسبة لسائقي الدراجات لتغيير المنحني في سرعة عالية.

عند رمي الكرة، فان الكرة ستأخذ مسارا منحنيا وذلك لان ذراع الرامي ويده يعملان على تقييد حركة الكرة وقوة التقييد هذه ستولد تعجيلا قطريا باتجاه مركز المنحني طيلة الحركة. عندما يطلق الرامي الكرة فان التعجيل القطري لن يبقى لفترة وستاخذ الأداة مسار المماس إلى المنحني في تلك اللحظة ولذلك ستكون عليه توقيت اطلاق الكرة مسالة حاسمة فإذا كان الإطلاق مبكرا أو متأخرا فان الكرة ستتجه الى اليسار او الى اليمين أكثر من ذهابها إلى الأمام بشكل مستقيم. المسالة موضحة في (شكل 16-9) يوضح تأثيرات المركبتان المماسية والقطرية للتعجيل.

(شكل 16–9) رامية كرة بأسلوب الطاحونة الدائرية تؤدي رمية بزمن 0,65 ثانية في حالة كون ذراع رميها بطول 0,7 متر .فما هي مقادير التعجيل القطري والمماسي على الكرة تماما قبل الإطلاق عندما تكون سرعة الكرة المماسية 20 م/ث ؟وما هو مقدار التعجيل الكلي على الكرة في هذه النقطة؟



المعلوم :

ن = 0,65 ث

نق = 0,7 م

س2 = 20 م/ث

الحل :

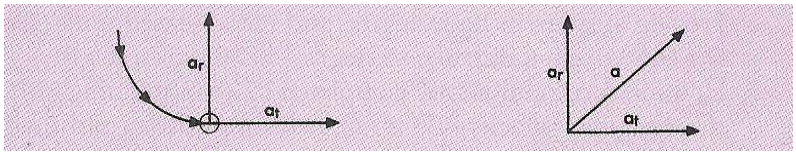
لإيجاد التعجيل المماسي نستخدم الصيغة التالية:

$$a_t = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

نفترض ان س1 = صفر

$$\text{التعجيل المماسي} = \frac{\text{٢٠ م/ث} - \text{صفر}}{\text{٠,٦٥ ث}} = \text{٣٠,٨ م/ث٢}$$

لإيجاد التعجيل القطري نستخدم الصيغة التالية :



$$a_r = \frac{v^2}{r}$$

$$\text{التعجيل القطري} = \frac{(\text{٢٠ م/ث})^2}{\text{٠,٧ م}} = \text{٥٧١,٤ م/ث}$$

ولإيجاد التعجيل الكلي نشكل متجه للتعجيلين القطري والمماسي وبما ان التعجيلين القطري والمماسي متعامدان مع بعضهما البعض فبالإمكان استخدام النظرية الفيثاغورسية لحساب مقدار التعجيل الكلي.

التعجيل الكلي (ت) = $\sqrt{(0,30 \text{ م/ث}2 + (571,4 \text{ م/ث}2)}$

= 572,2 م/ث2

يمكن أن تساهم كلتا مركبتي الحركة القطرية والمماسية في السرعة الخطية الناتجة للمقذوف عند الإطلاق .فعلى سبيل المثال ، عند السقوط بعد القلبات الهوائية من العارضة العالية في الجمباز.وعلى الرغم من المساهمة الرئيسية للسرعة الخطية لجاذبية مركز الجسم هي بشكل عام من التعجيل المماسي فان المركبة القطرية يمكن أن تساهم بـ 50 % من السرعة الناتجة.اما حجم المساهمة من المركبة القطرية بغض النظر فيما إذا كانت موجبة أو سالبة فهي تختلف باختلاف تكنيك اللاعب المنفذ.

الملخـــص Summary

يعتبر فهم الحركة الزاوية جزءا مهما في دراسة علم البيوميكانيك وذلك لان اغلب الحركات اللاإرادية في جسم الإنسان تتطلب دوران العظام حول المحاور الوهمية للدوران المارة داخل مراكز المفصل التي ترتبط بها العظام .ان الكميات الزاوية في الكينماتيك – الإزاحة الزاوية، السرعة الزاوية والتعجيل الزاوي لها نفس العلاقات الداخلية مثلها مثل نظيراتها الخطية.الإزاحة الزاوية تمثل التغير في الموقع الزاوي وتعرف السرعة الزاوية على إنها معدل التغير في السرعة الزاوية خلال فترة زمنية معينة واعتمادا على اختيار الفترة الزمنية فيمكن ان يحسب كميا القيم بالمعدل او القيم الآنية للسرعة الزاوية والتعجيل الزاوي وختاما فبالامكان يمكن حساب متغيرات الكينماتيك الزاوي المشكلة عن طريق المحاور الطولية لقسمي الجسم المرتبطين بمفصل أو للميل الزاوي الكامل لقسم من الجسم بالتناسب مع خط الإشارة الثابت.هنالك أدوات متنوعة للقياس المباشر للزوايا على جسم الإنسان المنفذ.

أختبر معلوماتك

1.تتغير الزاوية النسبية في المركبة من 180 درجة . 95 درجة في مرحلة ثني الركبة في تمرين القرفصاء .ففي حال إكمال 10 تمارين وضع القرفصاء فما هي المسافة الزاوية الكلية والإزاحة الزاوية الكلية التي تم اجتيازها بواسطة الركبة ؟ أعط الأجوبة بالدرجات وأنصاف الأقطار.

الجواب : = 1700 درجة المسافة الكلية

نق = 29,7 نصف القطر

= صفر الإزاحة الكلية

2.حدد الإزاحة الزاوية،السرعة الزاوية والتعجيل الزاوي للفترة الزمنية التي تتحرك عندها المؤشر الثاني للساعة من الرقم 12 إلى الرقم 6 .

أعط الأجوبة بالدرجات ووحدات أنصاف الأقطار.

الجواب : الازاحة الزاوية = 180 درجة السرعة الزاوية = 6 درجة/ث ، النسبة الثابتة نق – النسبة الثابتة/30نق/ت ، ت = صفر.

3. ما عدد الدورات التي تنفذ في النهاية المغزلية بسرعة زاوية ثابتة بـ 3× النسبة الثابتة نق/ت في الزمن20 ثانية ؟(الجواب 30 دورة)

4. ساق ضارب ممدودة تأرجحت لمدة 0,4 ثانية بعكس اتجاه عقرب الساعة بتعجيل 200 درجة/ث2 فما هي سرعة الانطلاق الزاوية للساق لحظة الاتصال بالكرة ؟الجواب80درجة/ث ، 1,4نق/ث

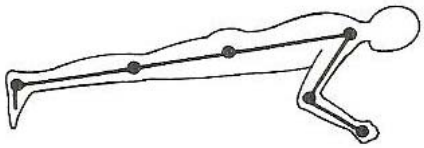
5. سرعة الانطلاق الزاوية لفخذ عداء تتغير من 3 نق/ث الى 2,7 نق/ث خلال فترة زمنية بمقدار 0,5 ثانية .كم كان مقدار معدل التعجيل الزاوي للساق؟ (الجواب 0,6 نق/ث2 ، 34,4 درجة/ث2).

6. حدد ثلاثة حركات تكون خلالها سرعة الانطلاق الزاوية الانية في زمن معين هي كمية ذات تأثير . وضح اختياراتك.

7.أملا القيم المتطابقة المفقودة للقياس الزاوي في اللائحة الآتية :

الدرجات	أنصاف أقطار	الدورات
90	?	?
?	1	?
180	?	?
?	?	1

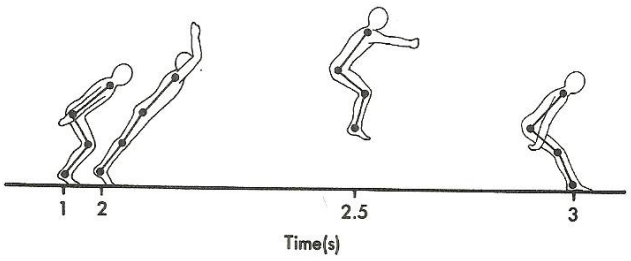
8.قس وسجل الزوايا التالية للرسم الموضح في الأسفل ؟



- ✓ الزاوية النسبية في الكتف.
- ✓ الزاوية النسبية في المرفق.
- ✓ الزاوية القائمة لوجه الاعلى.
- ✓ الزاوية القائمة للساعد.
- ✓ استخدم العمود الأيمن عندما تشير إلى الزاوية القائمة.

9.احسب الكميات التالية للمخطط في الأسفل :

- ✓ سرعة الانطلاق الزاوية في الورك عند كل فترة زمنية .
- ✓ سرعة الانطلاق الزاوية في الركبة عند كل فترة زمنية .
- ✓ ستعطي معلومة ذات معنى لحساب معدل السرعات الزاوية في الورك والركبة للحركة الموضحة في اعلاه؟ أعط نسبة لإجابتك.



10.مضرب تنس تأرجح بسرعة انطلاق زاوية 12 نق/ث لضرب كرة غير متحركة بمسافة 0,5 م من محور الدوران .فما هي السرعة الخطية للمضرب في نقطة الاتصال بالكرة؟(الجواب : 6م/ث)

11.تأرجح مضرب كولف 1,2م في حركة خطية بواسطة لاعب كولف يستخدم اليد اليمنى بطول ذراع قدره0,76 م فاذا كانت السرعة الأولية لكرة الكولف 35 م/ث كم كانت السرعة الزاوية للكتف الايسر في نقطة الاتصال بالكرة ؟(افترض بان الذراع الايسر والمضرب يشكلان بخط مستقيم وبان السرعة الأولية هي ذاتها السرعة الخطية للمضرب.؟(الجواب :17,86 نق/ث).

12.ديفيد يقارع جوليت ،فإذا عجلت رمية لديفيد 0,75 م لمدة 1,5 ثانية في نق/ث2 .فما هي سرعة الانطلاق الأولية للحجرة المرمية؟ (الجواب : 22,5 م/ث)

13. ضربت كرة بيسبول بواسطة مضرب 46 سم من محور الدوران عندما تكون السرعة الزاوية للمضرب 70 نق/ث فإذا ضربت الكرة بارتفاع 1,2 م بزاوية 45 درجة فهل ستجتاز الكرة حاجز بارتفاع 1,2م على بعد 110 متر؟ (افترض إن السرعة الخطية الأولية للكرة المطلقة).(الجواب:كلا فان الكرة عند ارتفاع 1,2م لمسافة 105,7م).

14.عصا وذراع لاعب بولو تشكل جزء صلب بطول 2,5 م فإذا تأرجحت الذراع والعصا بسرعة زاوية 1نق/ث بينما يثب حصان اللاعب بمقدار ب 5م/ث.فما هي سرعة الانطلاق الناتجة للكرة الساكنة التي تتقدم إلى الإمام؟(افترض ان سرعة الكرة هي نفسها السرعة الخطية لنهاية العصا) .(الجواب:7,5م/ث)

15.وضح كيف ستختلف سرعة الكرة في المسالة رقم(4) إذا تأرجحت العصا بزاوية 30 درجة باتجاه حركة الحصان.

16.اكتب ثلاثة حركات تكون فيها الزاوية النسبية لمفصل معين مهمة واكتب ثلاثة حركات تكون عندها الزاوية المطلقة لقسم من الجسم مهمة .وضح اختيارات.

17.رميت عصا نحو الهواء بسرعة زاوية أولية 2,5دورة/ث فإذا اجتازت العصا تعجيل ثابت عند الطيران ب0.2 دورة /ث2وكانت سرعتها الزاوية 0,8دورة/ثا عندما يقوم الرامي بمسكها .فما هي عدد الدورات التي ستؤديها في الهواء؟ (الجواب : 14 دورة)

18.دخل سائق دراجات منحني بنصف قطر 30 م وبسرعة 12م/ث فعندما استخدم الكابح كانت السرعة بمعدل ثابت 0,5م/ث2 فما هي مقادير التعجيلين القطري والمماسي عندما تكون سرعته 10م/ث؟ (الجواب : التعجيل القطري ar =3,33 م/ث2 و التعجيل المماسي at = 0,5م/ث2

19. نفذ التجربة المعروضة في شكل 11-15 في الصفحة 351 .دون المسافات المتحققة بواسطة الكرات الثلاثة واكتب توضيح مختصر .

20.مع رفيق ،استخدم جهاز الجونيومترز لقياس معدل الحركة لثني الرسغ والمد الأقصى ولثني الورك.أعط توضيح للاختلافات في هذه معدلات الحركة بين الشريك وبينك.

21. راقب طفل يضرب كرة او يرميها .اكتب وصف موجز للحركات الزاوية لنشاطات المفصل الأكبر .ما هي الملامح التي تميز الأداء عن الأداء المهاري المعقول للبالغ؟

22.في عمل جماعي ،راقب اثنان من المتطوعين يؤدون بالتزامن قفزات عمودية قصوى من مشهد جانبي اما باستخدام اعادة شريط الفيديو (الإعادة) أي تصوير القفزات او إعادة تنفيذ القفزات لعدة مرات.اكتب وصفا تناسبيا لحركات القفز الزاوية بضمتها الزوايا المطلقة القائمة والنسبية من حيث الأهمية.اكتب وصفا ذاكرا السبب كون إحدى القفزات أكثر ارتفاعا عن الأخريات.

23.ثبت بشريط ورقة رسم على جهاز المونتر(المرشد) في جهاز مسجل الفيديو مستخدما زر، ارسم ثلاث مخططات تمهيدية متوالية لشخص يؤدي حركة معينة.(إذا كانت الحركة بطيئة فستحتاج إلى تجاوز عدد ثابت من الإشكال فيما بين أوراق الرسم هذه).حول هذه الإشكال الى إشكال عصا .