الفصل الحادي عشر

التوازن وحركات الإنسان

EQUILIBRIUM AND HUMAN MOVEMENT

بعد إكمال هذا الفصل سيكون القارئ قادرا على:

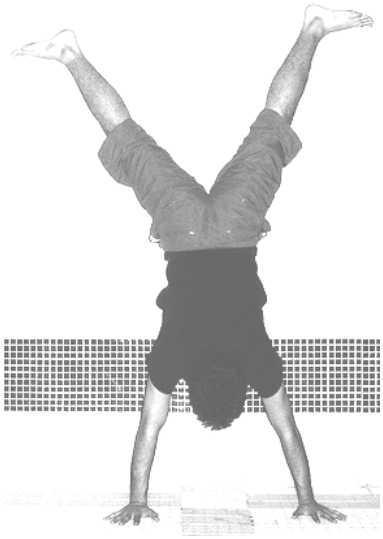
- ✓ تعريف عزم التدوير، حساب عزوم الدوران الناتجة، وتحديد العوامل التي تؤثر على عزوم دوران المفاصل الناتجة.
- ✓ تحديد الفوائد الحركية المرتبطة بالانواع المختلفة للعتلات وتوضيح فكرة الاستفادة من العتلات الرافعة في جسم الإنسان.
- ✓ حل المشاكل الكمية الأساسية باستخدام معادلات التوازن الثابت.
- ✓ تحديد مركز الجاذبية وتوضيح أهمية موضع مركز الجاذبية في جسم الإنسان.
- ✓ توضيح كيفية تاثير العوامل الميكانيكية على ثبات الجسم.
- ✓ لماذا يخفض رياضيو القفز العالي والقفز الطويل مركز أثقالهم قبل الارتقاء؟
- ✓ ما هي العوامل الميكانيكية التي تساعد في بقاء كرسي ذو عجلات فوق تل متدرج أو مصارع السامو لمقاومة هجوم خصمه؟

يستند الثبات الحركي للجسم على مقاومة كل من الحركتين الزاوية والخطية. ويستعرض هذا الفصل الحركة الزاوية مع العوامل التي تؤثر على الثبات الحركي الميكانيكي .

التوازن **EQUILIBRIUM**

عزم الدوران **Torque**

مثلما نوقش في الفصل3 ، فان التأثير الدوراني المتولد عن طريق القوة المستعملة يعرف بعزم الدوران (torque).والذي يمكن أن يكون فكرة عن قوة الدوران وهو المكافئ الزاوي للقوة الخطية.



فمن الناحية الجبرية فان عزم الدوران هو ناتج القوة والمسافة من تأثير خط القوة حتى محور الدوران.

عزم الدوران T = القوة F × المسافة الافقية

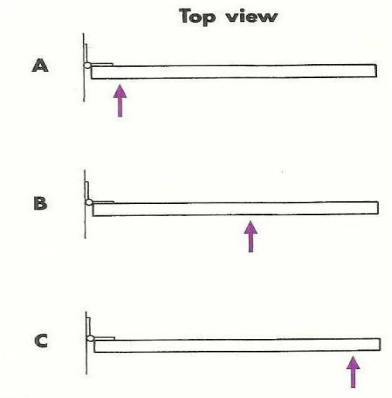
ولهذا فان زيادة مقدار القوة المستعملة أو المسافة لخط تأثير القوة لمحور الدوران يؤدي الى زيادة في تأثير عزم الدوران .إن اكبر مقدار لعزم الدوران الذي يؤثر في محور الدوران ،هو أكبر ميل لحدوث الدوران وهو اكبر تعجيل لجسم معين .

إن القوة داخل محور دوران الجسم لا تؤدي الى توليد عزم دوران لان المسافة الافقية تساوي صفر.

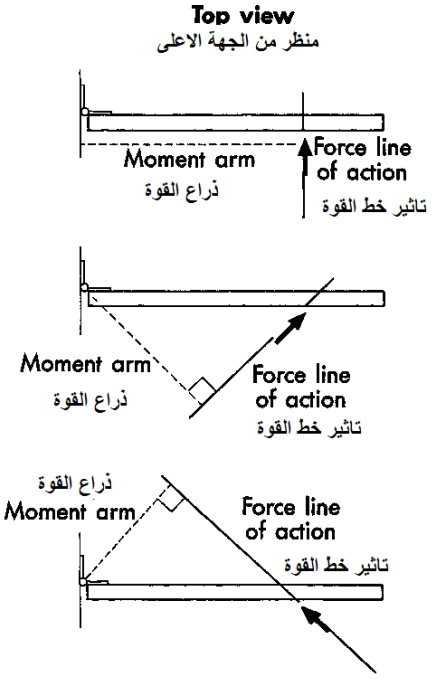
وتعرف المسافة بين الفعل أو تأثير خط القوة ومحور الدوران بذراع القوة (moment arm). وعزم الدوران المتولد عن طريق قوة بمقدار معين يكون دائما متناسبا مع طول ذراع القوة (شكل1-11).فأي تغير في انحراف تاثير فعل خط القوة بالتناسب مع محور الدوران يؤدي الى تغير في ذراع القوة وتغير لاحق في مقدار عزم الدوران المتولد عن

طريق القوة في محور الدوران(شكل2-11). ويمكن ملاحظة شكل (2-11) فان ذراع القوة هو اقصر مسافة بين تأثير خط القوة ومحور الدوران.

مثال لأهمية طول ذراع القوة وهو عن طريق اختيار الراقص ولوضع الإقدام عند التحضير لأداء دوران الجسم كليا حول المحور العمودي فعندما يبدأ الراقص بالدوران فان عزم الدوران المولد للدوران يكون مدعوما عن طريق قوى مكافئة ومعاكسة بالاتجاه تسلط بواسطة الإقدام مقابل الأرض. واثنان من القوى المتكافئة بالقيمة والمتعاكسة بالاتجاه تعرف بالقوة المزدوجة (couple)، ولان القوى المزدوجة توضع فوق جوانب متقابلة لمحور الدوران ، فانها ستؤدي إلى إنتاج عزم دوران في نفس الاتجاه .ولذلك فأن عزم الدوران المتولد بواسطة زوج من القوى هو مجموع ناتج كل قوة وذراع قوتها . إن الدوران من الموضع الخامس، مع مسافة صغيرة بين الأقدام، يتطلب إنتاج قوة اكبر عن طريق الراقص أكثر في الدوران من نفس المعدل من الموضع الرابع الذي يكون عنده اذرع القوى اطول عندما تكون القوى المزدوجة اكبر (شكل3-11).

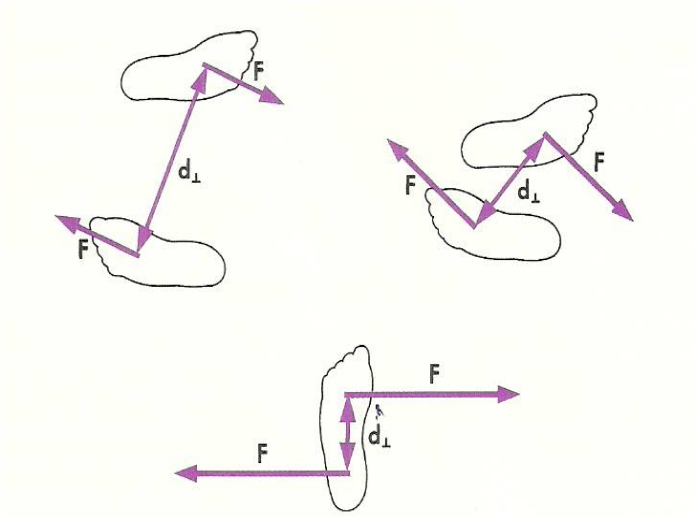


شكل(1-11) إي وضع أفضل من القوة لفتح باب متأرجحة ؟ التجربة يجب أن تتميز بان الوضع C هو الأفضل.



شكل(2-11) أن ذراع القوة هو المسافة االعمودية من خطوط تأثير القوة حتى محور الدوران (مفصل البا ب)

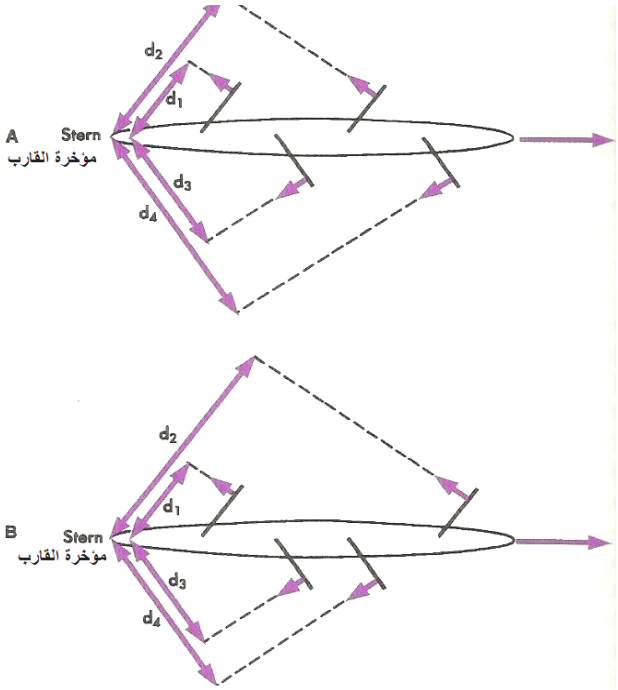
- ✓ قوة أكثر تتطلب عندما يتولد عزم الدوران عن طريق قدم إسناد منفردة عندها تكون ذراع القوة قليلة حتى المسافة بين مشط القدم وعظم العقب في القدم (calcaneus) .



شكل(3–11) عند الوقوف العريض للراقص فان المقدار الأكبر لثنائي القوة (زوج القوة) المتولد بواسطة الأقدام عند الدوران يكون متحققا

وعندما يكون الدوران عند الوقوف بقدم منفردة ، فان ذراع القوة يصبح المسافة بين نقاط الإسناد، وفي رياضة التجديف ، عندما يجذف الطاقم تقليديا بعكس اتجاهات جسم القارب، فان ذراع القوة المستعملة عن طريق مجداف ومقود القارب هي العامل المؤثر في الانجاز (شكل 4– 11).

تقليديا ، فان المجدفين على جانب واحد من الزورق يجلسون في مكان ابعد عن مؤخرة الزورق من نظرائهم على الجانب الآخر. ولهذا فان سبب محصلة عزم الدوران والتقلب الجانبي الناتج حول مؤخرة الزورق عند التجديف . الشراع الايطالي أزال هذه المشكلة بوضع لاعبي التجديف بحيث لن يكون هنالك عزم دوران متولد،على افتراض بان القوة المتولدة بواسطة أي لاعب تجديف في أي ضربة تجديف هي نفسها تقريبا بين جميع اللاعبين (شكل 4 –11).



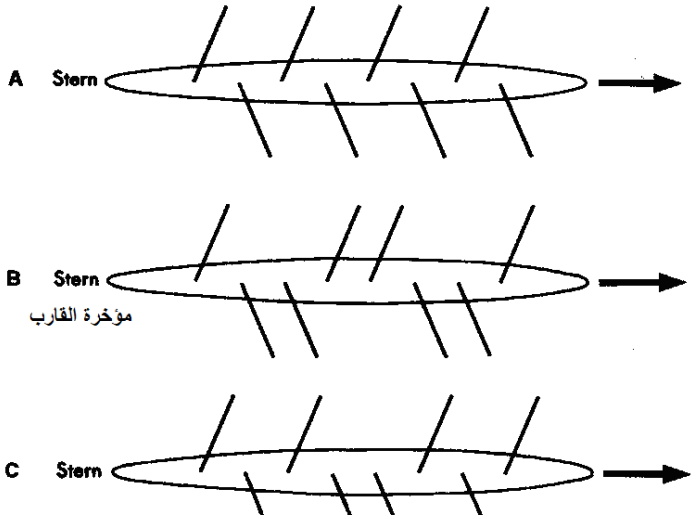
(شكل 4–11) إن هذا الترتيب للطاقم يعمل على توليد محصلة عزم دوران حول مؤخرة القارب لان مجموع المجداف الجانبي لأذرع القوة العلوية مخطط.

(المسافة1+المسافة2) هو اقل من مجموع اذرع القوى الجانبية السفلية (المسافة3+المسافة4).

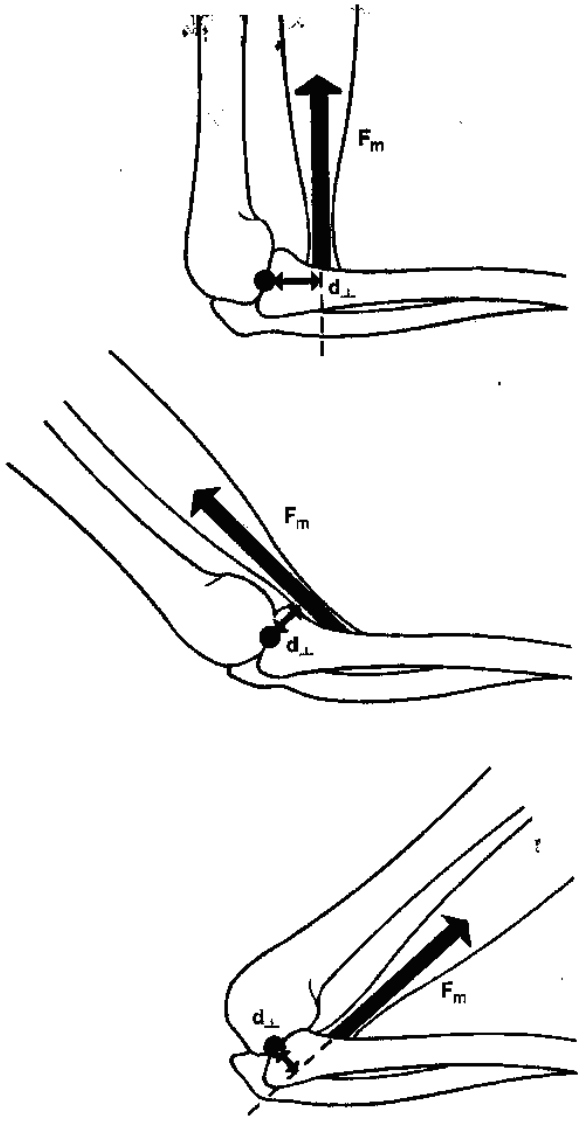
طور الايطاليون والمجدفون الالمان بنفس الأسلوب الأوضاع البديلة لطاقم زورق يتألف من 8 أعضاء (شكل5– 11). داخل جسم الإنسان، يكون ذراع القوة لعضلة بالنسبة لمركز المفصل هو المسافة العمودية بين خط تاثير العضلة ومركز المفصل (شكل 6–11) وعندما يتحرك المفصل في معدل من الحركة فهنالك تغيرات في ذراع القوة للعضلات المارة بامفصل.لأي عضلة يكون ذراع القوة اكبر عندما تكون زاوية السحب فوق العظم 90 درجة. وبينما تتحرك زاوية السحب بعيدا عن 90 درجة في أي من الاتجاهات فان ذراع القوة سينخفض بشكل متزايد .و تؤثر التغيرات في ذراع القوة بشكل مباشر على عزم دوران

للمفصل الثابت عند أي تمرين ، فيجب أن تقوم بإنتاج قوة اكبر بينما تنخفض ذراع قوتها .

إن عزم الدوران هو كمية متجهة ولذلك فهو يتميز بالمقدار والاتجاه . يتولد مقدار عزم الدوران عن طريق قوة تكون مساوية للقوة مضروبة بالمسافة العمودية dT واتجاه عزم الدوران الذي يجب ان يوصف على انه مع أو عكس عقرب الساعة .



(شكل 5-11)استخدم الألمان والايطاليون أمكنه بديله لطاقم مؤلف من ثمانية أعضاء. عزوم الدوران المتولدة بواسطة قوى المجداف مع مؤخرة القارب تكون متوازنة في الترتيبين B، C ولكن غير موجودة في الترتيب التقليدي الموضح في الشكلA



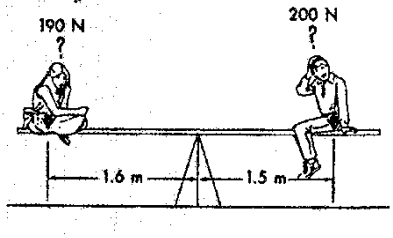
(شكل 6–11) إن ذراع قوة العضلة يكون في أقصاه في زاوية سحب 90 درجة، وبينما ينتقل خط السحب بعيدا عن 90 درجة، فان ذراع القوة يصبح اصغر بشكل متزايد.

ومثلما نوقش في الفصل 11 ، فان اتجاه عكس عقرب الساعة يشير الى الاتجاه الموجب (+) ، واتجاه عقرب الساعة يشير الى الاتجاه السالب (−). ويمكننا اضافة مقدارين اثنين أو أكثر من عزوم الدوران المؤثرة على محور دوران معين يمكن أن يضاف باستخدام قواعد تشكيل المتجهات (شكل6−11) .

عزوم دوران المفصل الناتجة Resultant joint Torques

إن فكرة عزم الدوران مهمة في دراسة حركة الإنسان لان عزم الدوران يعمل على إنتاج حركة أجزاء الجسم . كما نوقش في الفصل 6 فعندما تزيد العضلة المارة في مفصل الشد فهي بذلك تنتج قوة سحب على العظم فى مكان اتصالها وبالنتيجة توليد عزم دوران على مفصل العضلة المارة.

شكل 7−11 يمثل طفلان يجلسان على جانين متقابلين في ارجوحة ذات مقعدين متقابلين .احمد بوزن 200 نيوتن . يبعد 1,5 م عن محور دوران المرجوحة، وساره بوزن 190 نيوتن. وتبعد 1,6م من محور دوران الأرجوحة ، فأي طرف من الأرجوحة سيسقط؟



المعلوم :

احمد : و = 200 نيوتن

المسافة العمودية = 1,5 م

ساره : و = 190 نيوتن

المسافة العمودية = 1,6م

الحل :

ستدور الأرجوحة في اتجاه عزم الدوران الناتج على محور دورانها ،لإيجاد عزم الدوران الناتج ، فان عزوم الدوران المتولدة عن طريق الطفلين تجمع طبقا لقوانين تركيب المتجهات . إن عزم الدوران الناتج عن طريق وزن جسم ساره هو عكس عقرب الساعة اتجاه (+) وعزم الدوران المتولد عن طريق وزن جسم احمد هو في اتجاه عقرب الساعة (سلبي):

عزم الدوران أ = (ق س) (م س) – (ق ج) (م ج)

= (190 نيوتن) (1,6م) – (200نيوتن) (1,5م)

= 304 نيوتن.م – 300 نيوتن.م

= 4 نيوتن . م

عزم الدوران الناتج هو بالاتجاه الموجب ،ستسقط النهاية التي تجلس عليها سوزي.

- ✓ إن ناتج شد العضلة وذراع قوة العضلة تولد عزم دوران على المفصل المار بالعضلة.

تتطلب حركة الإنسان الكبيرة زيادة في الشد المتزامن في مجاميع العضلات المحركة والعضلات المضادة للحركة . حيث يتحكم الشد في العضلات المضادة للحركة بسرعة الحركة ويعمل على تعزيز ثبات المفصل الذي تحدث فيه الحركة، ويميل لان زيادة شد العضلات المضادة يؤدي الى توليد عزم دوران في الاتجاه المقابل لعزم الدوران المتولد بواسطة العضلات التي تقوم بالحركة، فان الحركة الناتجة في المفصل هي محصلة عزم الدوران.

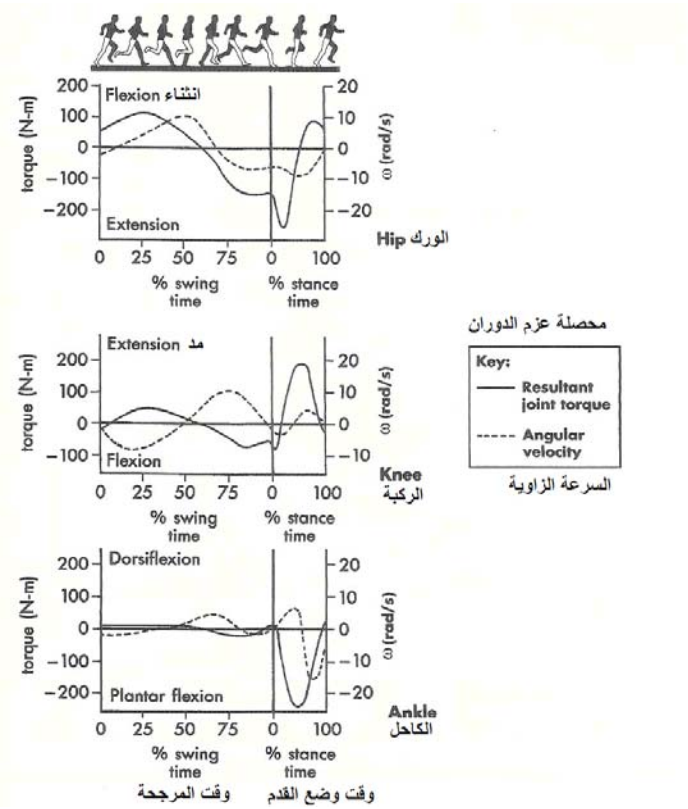
عندما تحدث حركة المفصل ومحصلة عزم الدوران في نفس الاتجاه، فيصطلح على عزم الدوران بالمركزي ، وعزم الدوران بالاتجاه المعاكس لحركة المفصل يعتبر في هذه الحالة عزما لا مركزيا. وعلى الرغم من

ان هـذه المصـطلحات تعـابير مفيـدة بشـكل عـام فـي تحليـل الوظيفـة العضـلية فـان اسـتخدامها يكـون معقـدا عنـدما يعنـي الامـر عضـلات مفصـلين أو عـدة مفاصـل ، بمـا انـه يمكـن ان يكـون عـزم الـدوران مركـزي فـي واحـد مـن المفاصـل و لا مركـزي فـي المفصـل الآخـر المـار فـي نفـس العضلة.

ولان القيـاس المباشـر للقـوى الناتجـة بواسـطة العضـلات خـلال أداء مهـارات الحركـة لـيس عمليـا، فـان قياسـات أو تقـديرات عـزوم دوران المفاصـل الناتجـة (قـوى المفصـل) غالبـا مـا تـدرس للتحـري عـن أسـاليب مساهمات العضلة.

هنالـك عـدد مـن العوامـل وبضـمتها وزن أجـزاء الجسـم، حركـة أجـزاء الجسـم ونشـاط القـوى الخارجيـة ، يمكـن أن يسـاهم فـي محصـلة عـزوم دوران المفصـل ، ومـع ذلـك فـان عـزوم الـدوران فـي المفصـل تعطـي تقديرات مضطربة عن معدلات مساهمة المجموعة العضلية .

ولفهـم أفضـل لوظيفـة العضـلة خـلال الـركض ، فـان عـدد مـن المسـتطلعين درسـوا عـزوم دوران المفصـل الناتجـة فـي الـورك ، الركبـة والكاحـل خـلال خطـوة العـدو مثلمـا حسـبت مـن بيانـات الافـلام وبيانـات منصة القوة .

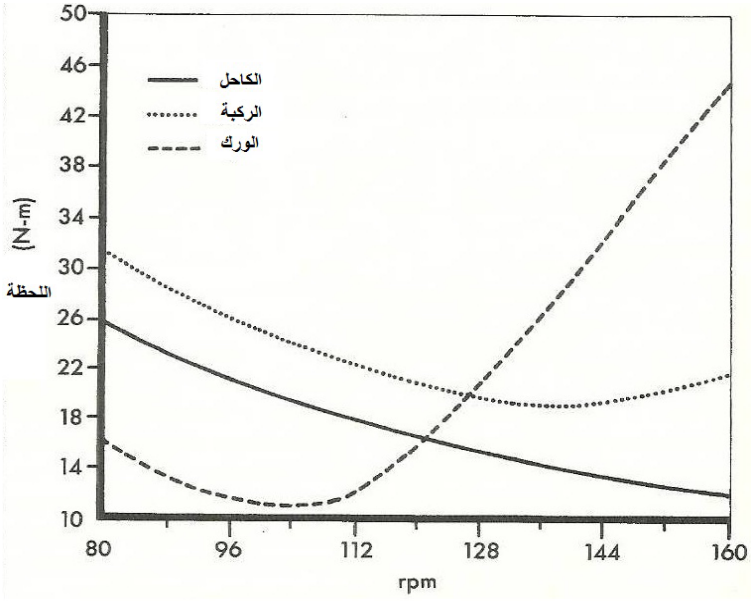


(شكل 8–11) يعرض عزوم الدوران المفصل الناتجة والسرعات الزاوية للورك ، الركبة والكاحل خلال خطوة العدو إذ حسبت من فيلم وبيانات برنامج القوة.

في (شكل8–11)، عندما يكون منحني عزم دوران المفصل الناتج والسرعة الزاوية على نفس الجانب من خط الصفر ، سيكون عزم الدوران مركزيا مع عزم دوران يكون لا مركزيا عندما يكون المعكوس حقيقيا . يمكن أن يلاحظ من الشكل 8–11 فان كل من عزوم الدوران المركزية واللامركزية موجودة في مفاصل الطرف السفلي عند الركض .

تكون عزوم دوران مفصل الطرف السفلي في سباق الدراجات لطاقة معينة مؤثرة عن طريق معدل استعمال الدواسة ، وارتفاع المقعد،

طـول ذراع التـدوير والمسـافة مـن محـور دوران الدواسـة حتـى مفصـل الكاحـل . أن معـدل عـزوم دوران الركبـة والـورك سـباق الـدراجات تحـت ظـروف التجـوال سـجلت لتكـون فـي أدناهـا بمـا يقـارب 105 دورة لكـل دقيقـة . و(شـكل 9 –11) يوضـح التغيـرات فـي معـدل عـزم الـدوران النـاتج فـي مفصـل الـورك و الركبـة ومفصـل الكاحـل.مع تغيـرات فـي معـدل استعمال الدواسة في طاقة ثابتة.



(شكل 9 –11) عزوم دوران مفصل الورك ، الركبة ، الكاحل مقابل معدل استعمال الدواسة خلال دوران العجلة.

مـن المفتـرض ان تـزداد متطلبـات القـوة العضـلية ومـن ثـم عـزم دوران المفصـل وفـي حالـة ازديـاد المقاومـة ويصـح ذلـك طالمـا بقيـت المقـادير الحركيـة ثابتـة ، فعلـى سـبيل المثـال اتضـح انـه خـلال تمـرين القرفصـاء فـان التغيـرات الدقيقـة فـي متغيـرات الحركـة مثـل زاويـة الجـذع القائمـة وثنـي الركبـة والكاحـل وعنـد تعكـس بشـكل كبيـر عـزوم دوران متغيـرة

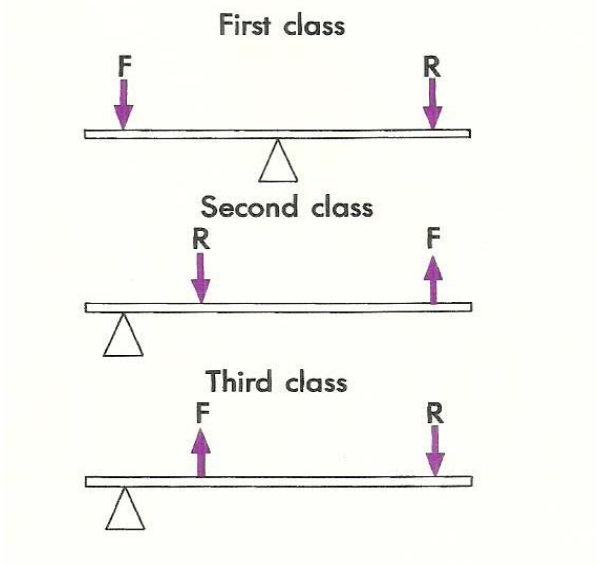
او مختلفة في الورك والركبة والكاحل وبينما يزداد حمل القرفصاء حمل القرفصاء من 60% الى 80% كحد أقصى . ان احد المواضيع الدراسة عرض أكثر من ضعف الزيادة المتوقعة في عزم الدوران في الركبة بينما انخفضت عزم الدوران في الركبة في دراسة اخرى.

هنالك مواضيع أو عوامل أخرى تؤثر على عزوم دوران المفصل خلال التمرين منها عامل سرعة الحركة . فعندما تبقى العوامل الأخرى ثابتة فان سرعة الحركة الزائدة تكون مرتبطة بعزوم دوران المفصل الناتجة عند القيام بتمارين مثل تمرين القرفصاء إن سرعة الحركة الزائدة خلال تمرين الوزن غير مرغوبة بشكل عام لان السرعة الزائدة لا تعمل على زيادة شد العضلة فحسب ،بل تعمل كذلك على زيادة احتمالية ارتكاب التكنيك الخاطئ وبالنتيجة ستحدث الإصابة . إن التعجيل في الحمل بشكل مبكر عن أداء تمرين المقاومة يعمل كذلك على توليد الزخم ، الذي يعني إن حاجة العضلات لا تحتاج العمل بقوة طيلة الحركة مثلما يمكن ان تكون الحالة بطريقة اخرى لا تعمل بجد خلال الحركة .و لهذه الأسباب فانه لأداء أكثر فعالية وأكثر سلامة يكمن في أداء التمارين بشكل بطئ ، وسرعات حركة مسيطر عليها.

العتلات Levers

عندما تعمل العضلات على زيادة الشد ، فان سحب العظام الى الأعلى لإسناد أو نقل المقاومة المتولدة عن طريق وزن أقسام الجسم ووزن الحمل المضاف ، فان العضلة والعظم سيعملان ميكانيكيا كعتلات على العتلة (Lever) . والعتلة هي عبارة عن عمود صلب يعمل على الدوران حول المحور.في جسم الإنسان فان العظام تؤثر وتعمل عمل جسم صلب . والمفصل هو عبارة عن المحور ، وقوة

العضلة هي عبارة عن القوة . هذه الترتيبات النسبية الثلاثة للقوة المستعملة ، المقاومة ومحور الدوران لعتلة معينة موضح في (شكل10-11).

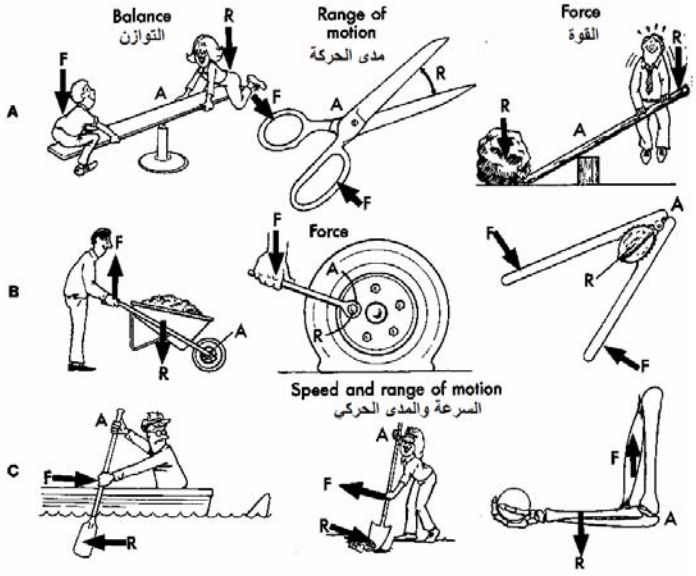


(شكل 10-11) مواقع نسبية للقوة المستعملة، المقاومة ومحور الدوران يحدد أصناف العتلات.

- ✓ يمكن تعريف العتلة العتلة Lever بأنها ماكنة بسيطة تتألف من عارضة صلبة يمكن إن تصنع الدوران حول المحور.

في عتلة من الصنف الأول تكن القوة المستعملة والمقاومة موجودتان على الجوانب المتقابلة للمحور.والأرجوحة المتقابلة هي مثال لعتلة الصنف الأول وهي من العتلات الشائعة الاستخدام إضافة الى آلات تشمل هذا النوع من العتلات ومنها الاستخدام بضمنها المقصات. النحل وآلة انتزاع المسامير (الكماشة).

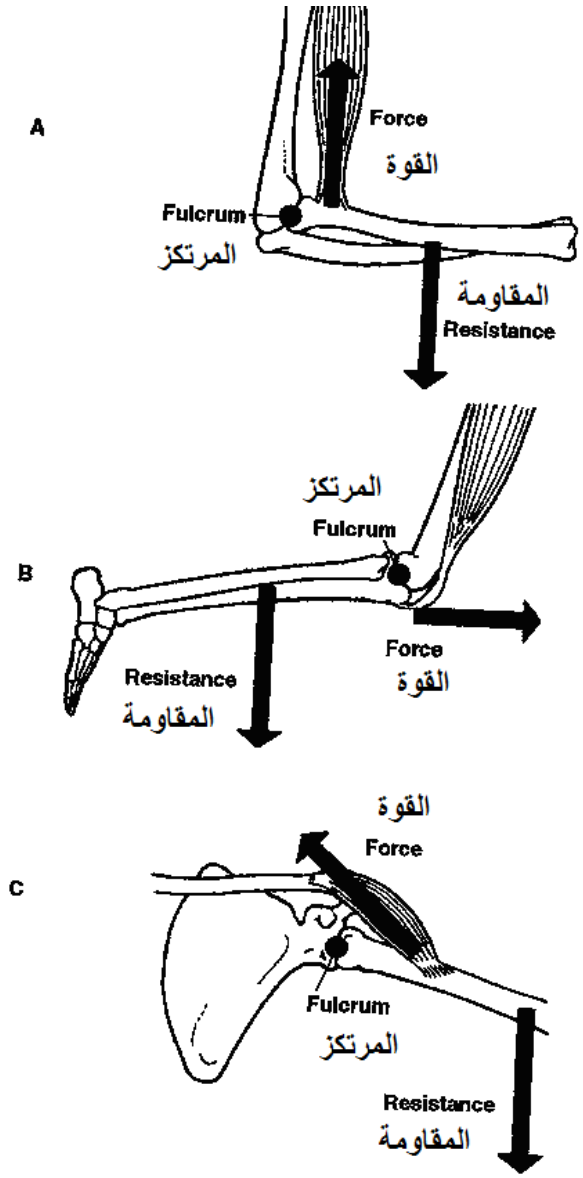
فـي جسـم الإنسـان فالنشـاط المتـزامن لعضـلات المولـدة الحركـة والعضـلات المضـادة للحركـة علـى الجوانـب المتقابلـة لمحـور المفصـل يكـون مشـابه الـى عمـل صـنف العتلـة مـن النـوع الأول، حيـث تقـوم العضـلات المحركـة بتزويـد القـوة المسـتعملة والعضـلات المضـادة للحركـة بقـوة وفـي هـذا الصـنف مـن العـتلات ، فـان القـوة المسـتعملة والمقاومـة يمكـن ان تكونـا علـى مسـافات متسـاوية مـن المحـور. أو ربمـا تكـون أحـداهما ابعـد عـن المحـور فـي العـتلات الاخـرى ،امـا فـي العتلـة مـن النـوع الثـاني فـان القـوة المسـتعملة والمقاومـة يكونـا علـى نفـس الجانـب مـن المحـور، مـع مقاومـة تكـون اقـرب الـى المحـور .فعربـة اليـدومفتاح شـد البرغـي وكسـارة الجـوز هـي مجموعـة مـن الأمثلـة لعـتلات الصـنف الثـاني (شـكل11-11) امـا العـتلات مـن الصـنف الثالـث وتكـون المقاومـة والقـوة علـى نفـس الجانـب مـن المحـور،ولكن القـوة المسـتعملة تكـون اقـرب الـى المحـور. فعتلـة قـارب الكـانو والمجرفـة يمكـن أن تكونـا أمثلـة لعـتلات الصـنف الثالـث شـكل 11-11 وجـدير بالـذكر ان معظـم أنظمـة عتلـة – العظـم العضـلة فـي جسـم الإنسـان هـي امثلـة لعـتلات الصـنف الثالـث فـي الانقباضـات المركزيـة تعمـل علـى توليـد القـوة المسـتعملة والاتصـال بـالعظم بمسـافة قصـيرمن مركـز المفصـل بالمقارنـة مـع المسـافة التـي تتولـد عنـدها المقاومـة عـن طريـق وزن جـزء مـن الجسـم او عـن طريـق تـاثير جـزء الجسـم الاكثـر بعـدا .



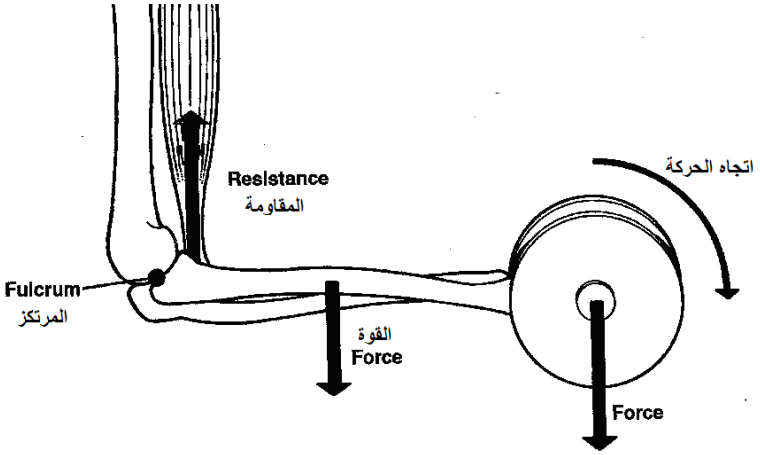
شكل11-11 أ- عتلات الصنف الأول ب- عتلات الصنف الثاني جـ-عتلات الصنف الثالث

لاحظ إن استخدام الدواسة والمسمار هي عتلات من الصنف الثالث عندما لا تستعمل اليد العليا بل تعمل على ثبات محور الدوران .

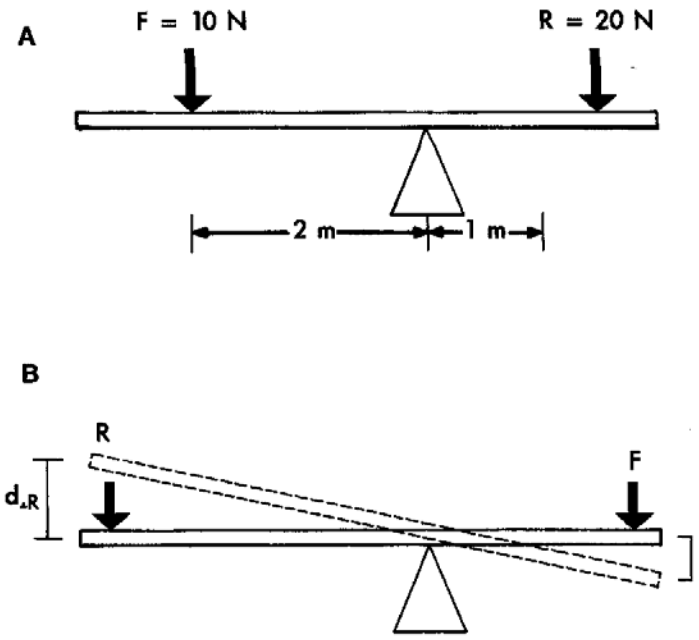
- ✓ عتلة الصنف الأول: هي عبارة عن عتلة توضع على جوانبها القوة المستعملة والمقاومة على الجانب الاخر من محور الدوران .
- ✓ عتلة الصنف الثاني : وهي العتلة التي توضع المقاومة فيها بين القوة المستعملة ومحور الدوران .
- ✓ عتلة الصنف الثالث: عبارة عن عتلة توضع فيها القوة المستعمل فيها بين محور الدوران والمقاومة .



(شكل 12–11) إن غالبية العتلات في جسم الإنسان هي من الصنف الثالث
أ.العضلة ذات الرأسين أعلى الذراع ب.الرباط الرضفي في الركبة ج.العضلة الوسطية في الكتف



(شكل 13 – 11) تنقبض عضلات ثني المرفق لا مركزيا فتعطي مقاومة إيقاف وتسيطر على سرعة الحركة خلال مرحلة النزول تمرين الثني ، في مثل هذه الحالة يكون النظام هو نظام الصنف الثاني لعتلة العضلة – العظم.



(شكل 14 –11) يمثل:

أ. قوة يمكن إن توازن مقاومة اكبر عندما يكون ذراع القوة أطول من ذراع المقاومة

ب. قوة يمكن أن تنقل مقاومة في معدل اكبر من الحركة عندما يكون ذراع القوة اقصر من ذراع القوة المقاومة.

أما خلال الانقباضات اللامركزية. فان العظم والعضلة يعملان عمل عتلة من الصنف الثاني .

ان نظام العضلات يمكن أن يقدم خدمة لغرض أو غرضين (شكل 13 – 11). فعندما يكون ذراع القوة لقوة مستعملة اكبر من ذراع قوة المقاومة فان قيمة أو مقدار القوة المستعملة الضرورية لرفع مقاومة معينة سيكون اقل من مقدار المقاومة.وعندما يكون ذراع المقاومة اكبر من ذراع القوة ، فان المقاومة يمكن أن تكون متحركة في مسافة كبيرة

نسبيا من ناحية اخرى فان التاثير الميكانيكي لاي عتلة . لدفع أو إبعاد مقاومة يمكن أن يعبر عنه كميا من ناحية فائدتها الميكانيكية والتي هي نسبة ذراع القوة على نسبة ذراع المقاومة:

$$\text{الفائدة الميكانيكية} = \frac{\text{ذراع القوة}}{\text{ذراع المقاومة}}$$

شكل إن عزوم الدوران المطلوبة في الورك ،الركبة،والكاحل خلال سباقات الدراجات في طاقة معينة تكون متأثرة بموقع الجسم وإبعاد الدراجة

- ✓ الفائدة الميكانيكية: هي نسبة ذراع القوة على ذراع المقاومة لعتلة معينة.

عندما يكون ذراع القوة اطول من ذراع المقاومة فان نسبة الاستفادة الميكانيكية ستنخفض الى الرقم الذي يكون اكبرمن واحد ومقدار القوة المستعملة المطلوبة لتحريك مقاومة معينة سيكون اقل من مقدار المقاومة.

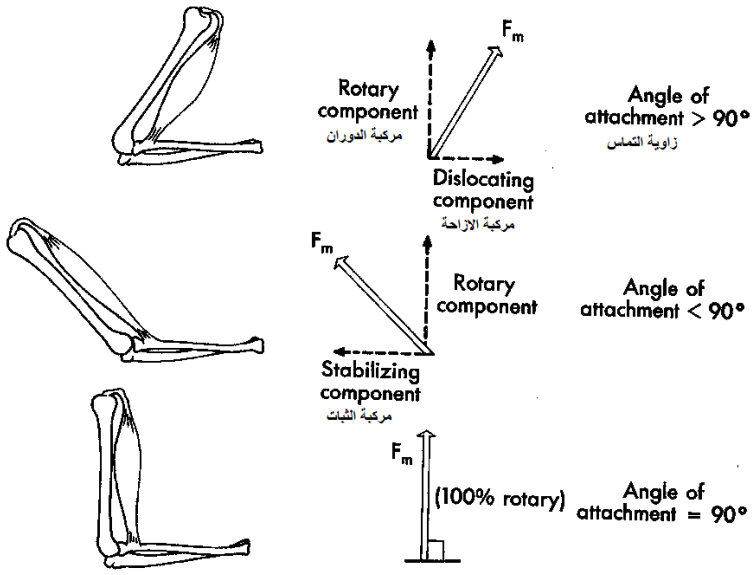
إن القدرة على دفع مقاومة تكون اقل من القوة ، تمثل استفادة واضحة عندما يتوجب ان ينقل أو يحرك حمل ثقيل ، وكما موضح في (شكل 13 – 11) فان عربة اليد تشكل عتلة من الصنف الثاني باحتكاك دوراني لتسهيل نقل الحمل عند إزالة صمولة من عجلات سيارة

، فمن النافع من عملية الاستخدام ان يكون عمليا لزيادة النفع الميكانيكي الحركي لفتح الصامولة .

وبالعكس ، فعندما تكون نسبة الفائدة الحركية اقل من 1 ، فان القوة التي تكون اكبر من المقاومة يجب ان تستعمل لتوليد حركة العتلة وعلى الرغم من ان هذا النظام يكون اقل فعالية في الشعور بالحاجة لقوى اكبر . فان الحركة الصغيرة للعتلة في منطقة استعمال القوة تقوم بدفع المقاومة خلال معدل اكبر من الحركة .

عند دفع كرسي ذو عجلات ، فان الفائدة الحركية هي معدل أو نسبة نصف قطر الإطار اليدوي الى نصف قطر العجلة ، وبما إن نصف قطر الإطار اليدوي يكون دائما اصغر من نصف قطر العجلة ، فان الفائدة الميكانيكية لدفع كرسي تكون دائما اقل من الصفر. وهذا مفيد لان حركات الإطارات اليدوية تتحول الى حركات اكبر للعجلات و المقاومة ، والتي هي عبارة عن احتكاك الدوران تكون واطئة نسبيا. ان للقوة المستعملة على إطار دفع فان سرعة الكرسي المتحرك تكون متناسبة مع الفائدة الحركية . لقد وجد الباحثون بان الفائدة الحركية لـ 0,43 أكثر تأثير ميكانيكي من الفوائد الحركية لمعدلات تصل حتى 0,87 لعملية دفع الكرسي المتحرك . لان الفائدة الميكانيكية الاوطا (والسرعة الأوطأ) ، قادره على استعمال قوة اكبر بشكل مباشر وبموازاة مجال دوران الإطار اليدوي .

يحاول الرياضيين المهرة في العديد من الفعاليات الرياضية عمدا زيادة طول ذراع القوة المؤثر وذلك لزيادة تأثير عزم الدوران الناتج بواسطة العضلات الموجود حول المفصل . فعند تنفيذ ضربة التنس ، فان اللاعبين ذوو الخبرة لا يقومون بضرب الكرة بذراع ممدودة تماما وحسب ولكنهم يحاولون ايضا تدوير الجسم بنشاط في مستوى مستعرض كذلك جاعلين من العمود محور للدوران ورافعين طول العتلة التشريحية التي تقوم بتوليد القوة. نفس هذه الستراتيجية تطبق عن طريق رياضيي البيسبول وكما نوقش في الفصل 11 فان نصف قطر الدوران الأطول ، هو السرعة الخطية المستقيمة الأكبر لرأس المضرب أو اليد التي تقوم بالرمي والسرعة الناتجة الأكبر لكرة مضروبة أو مرمية .



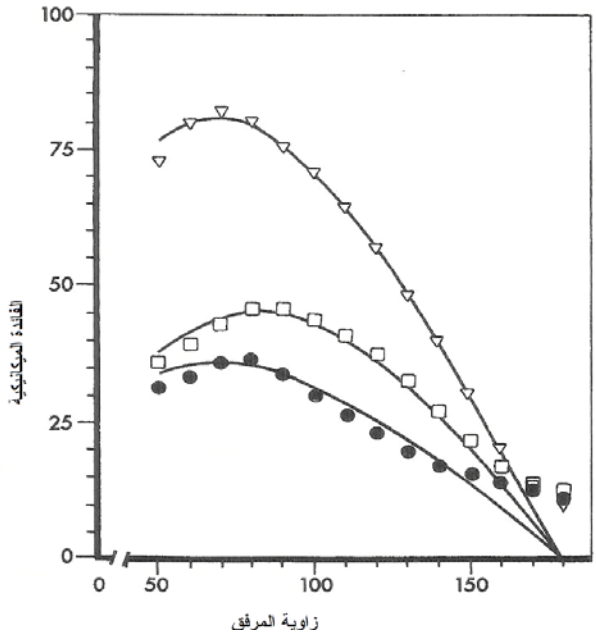
(شكل 15–11) أن ذراع القوة لقوة مستعملة يمكن كذلك أن يشير إلى ذراع القوة ، ويمكن أن يشير ذراع القوة للمقاومة إلى ذراع المقاومة .

معظم أنظمة العتلات بين العظام – العضلة في جسم الإنسان هي عتلات من الصنف الثالث ، ولذلك فان لها منفعة أو فائدة حركية اقل من 1 وعلى الرغم من هذا النظام يعمل على تعزيز معدل الحركة والسرعة الزاوية لأجزاء الجسم ، فان قوى العضلة المتولدة يجب أن تقوم بزيادة قوة او قوى المقاومة في حالة كون الشغل هو شغل حركي ايجابي . تؤثر الزاوية التي تسحب عليها العظلة فوق العظم ايضا على الفاعلية الميكانيكية في نظام العتلات بين العضلة والعظم .

تحلل قوة الشد العضلي الى مركبتين – واحدة عمودية على العظم الماس والأخرى موازية للعظم (شكل 15-11) . وكما نوقش في الفصل الخامس فان المركبة قوة العضلة التي تؤثر عموديا على العظم – هي مركبة الدوران – وتسبب دوران العظم حول مركز المفصل . أما المركبة الأخرى وهي مركبة قوة العضلة الموازية للعظم فهي اما ان تسحب العظم بعيدا عن مركز المفصل أو باتجاه مركز المفصل (مركبة تثبيت) ، بالاعتماد على فيما إذا كانت الزاوية بين العظم والعضلة الماسة اقل أو أكثر من 90 درجة .

تعتبر زاوية الاستفادة الميكانيكية القصوى لأي عضلة هي الزاوية التي يمكن أن يتولد عندها اكبر قوة الدوران . في مفصل كمفصل المرفق فن الزاوية النسبية الموجودة في المفصل تكون قريبة الى زوايا الاتصال في عضلات ثني المرفق . إن المنفعة الميكانيكية القصوى للعضلات (branchioradialis) العضلة العضدية الكعبرية ، والعضلة العضدية ذات الرأسين وعضلة branchialis العضدية في عظم العضد تحصل الزاوية في المرفق بين ما يقارب 75 – 90 درجة (شكل 16-11) .

✓ إن قابلية العضلة في توليد القوة تكون مؤثرة وفعالة عن طريق طول العضلة، المنطقة المقطعية المارة ، ذراع زاوية الاتصال ، قصر المسافة وحالة التدريب .



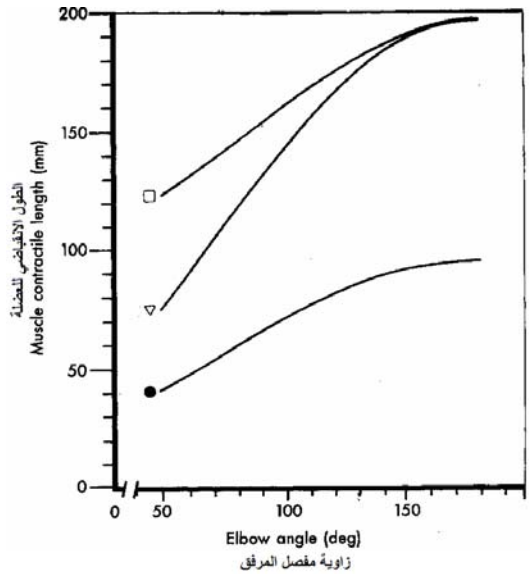
(شكل 16-11) الفائدة الحركية للعضلات التالية branchialis • والعضلة العضدية ذات الرأسين biceps العضلة العضدية الكعبرية branchioradialis كوظيفة لزاوية مفصل المرفق.

✓ الشكل البيوميكانيكي لثني عزوم الدوران عضلات ذراع الإنسان بالاستفادة من زاوية المرفق ،وبينما تتغير زاوية المفصل والاستفادة الحركية فان طول العضلة يتغير أيضا .

إن التغير في أطوال عضلات ثني المرفق مرتبط بالتغيرات في زاوية مفصل المرفق موضح في (شكل 17-11) . هذه التغيرات لها تأثير على مقدار شد العضلة الذي يمكن توليده ، كما نوقش في الفصل 6 . إما زاوية المرفق التي يتولد عندها عزم الدوران الأقصى تساوي ما

يقارب 80 درجة مع انخفاض عزم دوران بشكل متزايد في حالة حدوث التغييرات التي تحصل في زاوية المفصل في كل اتجاه . إن تغير النشاط الحركي للمجاميع العضلية في توليد دوران المفصل مع تغيرات زاوية المفصل هو مبدأ أساسي في تصميم آلات تدريب قوة المقاومة المتغيرة الحديثة . وعلى الرغم من إن هذه المكائن تقدم مقاومة نسبية اكبر عند معدلات حركة المفصل الكبيرة أكثر من الإثقال الحرة فان أساليب المقاومة الموحدة هي ليست مثال دقيق لمعدل منحنيات قوة الانسان .

تصمم آلات التدريب المقاومة المتغير لربط المقاومة المقدمة للمجموعة العضلية التي تقوم بتوليد عزم الدوران لمتغير خلال معدل من الحركة .



(شكل 17-11) الطول الانقباضي لعضلة branchialis • والعضلة العضدية ذات الرأسين biceps□ العضلة العضدية الكعبرية branchioradialis Δ كوظيفة لزاوية مفصل المرفق.

- ✓ الشكل البيوميكانيكي لثني عزوم الدوران لعضلات ذراع الإنسان بالاستفادة من زاوية المرفق.

تمثل المكائن الحركية طريقة أخرى لربط قابلية توليد عزم الدوران مع المقاومة وتصمم هذه الآلات كي تمكن الفرد من استعمال القوة مع ذراع العضلة الذي يدور بسرعة زاوية ثابتة . فإذا استقام مركز المفصل بنفس الخط مع المركز دوران ذراع المقاومة ، فان قسم من الجسم يدور بنفس السرعة الزاوية الثابتة لذراع العتلة . أما اذا كان توليد عزم الدوران الإرادي عن طريق مجموعة العضلة المشاركة في أقصاه طيلة معدل الحركة ، فان المقاومة القصوى ستتحقق من الناحية الفرضية . اضافة الى ذلك فانه عندما تستعمل القوة اولا لذراع القوة في المكائن الحركية ، فسيحدث التعجيل وستتردد أو تتذبذب السرعة الزاوية للذراع لحين الوصول الى السرعة الدورانية . ولان استخدام المكائن المقاومة الحركية تتطلب تركيز المستخدم على بذل جهد أقصى من الحركة فان بعض الإفراد يفضلون أشكالا أخرى في تدريب المقاومة .

معادلات التوازن الثابت Equations of Static Equilibrium

التوازن هو حالة تتميز بتوازن القوى وعزوم الدوران (لا محصل للقوى وعزوم الدوران). بالمحافظة على قانون نيوتن الأول فان الجسم عند التوازن أما أن يكون بدون حركة أو يتحرك بسرعة ثابتة .عندما يكون الجسم بدون حركة تماما فهو في حالة توازن ساكن .

- ✓ يتضمن مصطلح (isokinetic) سرعة زاوية ثابتة في المفصل عندما يستعمل تمرين الآلات .

هنالك ثلاثة شروط يجب ان تلتقي كي يكون الجسم في حالة توازن ثابت :

1. مجموع كل القوى العمودية (أو مركبات القوة) المؤثرة على الجسم يساوي صفر.
2. إن مجموع القوى الافقية (مركبات القوة) التي تؤثر على الجسم يجب ان تكون صفر
3. يجب أن يكون جميع عزوم الدوران صفر .

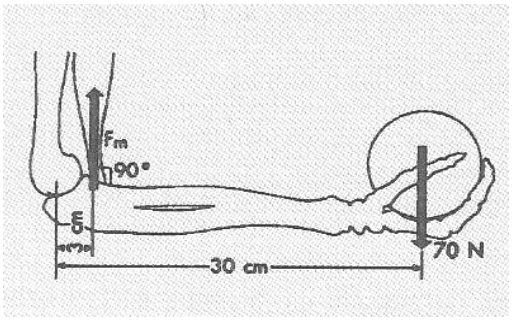
$$\sum Fv = 0$$

$$\sum Fh = 0$$

$$\sum T = 0$$

يشير حرف $\sum$ الإغريقي الى المجموع ، ويمثل Fv القوى العمودية و Fh القوة الافقية ويمثل الحرف T الى عزم الدوران . وعندما تكون المادة في حالة سكون فإنها يمكن أن تشر إلى الشروط الثلاثة المؤثرة لان انتهاك أي من هذه الشروط سيؤدي الى حركة الجسم . ان شروط التوازن الثابت هي عبارة عن آلات متنوعة لحل المسائل المتعلقة بحركة الإنسان (شكل18-11) و(شكل 19-11)

شكل 18-11 ما مقدار القوة التي يجب إنتاجها عن طريق العضلة العضدية ذات الرأسين عند الوصول الى زاوية 90 درجة بنصف قطر 3 سم من مركز دوران مفصل المرفق لحمل يزن 70 نيوتن محمول في اليد على مسافة 30 سم من مفصل المرفق ؟ أهمل وزن الذراع الأمامية واليد وأهمل إي نشاط للعضلات الأخرى .



المعلوم :

نق = 3سم

و = 70 نيوتن

مسافة الوزن = 30 سم

الحل :

بما إن الحالة الموصوفة هي ثابتة فان مجموع عزم الدوران المؤثرة على المرفق يجب أن تساوي صفر.

مجموع عزوم الدوران = صفر

= (القوة)(نق) – (و) (مسافة الوزن)

= القوة (0,03م) – (70نيوتن) (0,30م)

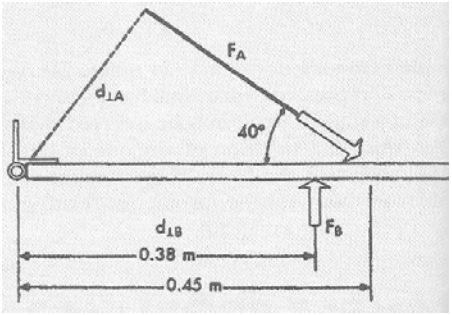
(70 نيوتن)(0,30م)

القوة = ــــــــــ

(0,03م)

= 700 نيوتن

شكل 19-11 شخصان يستعملان قوة باتجاهين متضادين لباب متأرجحة عديمة الاحتكاك ، فإذا استعمل أ قوة 30 نيوتن بزاوية 40 درجة 45 سم عن مفصل الباب ، واستعمل ب قوة بزاوية 90 درجة 38 سم من مفصل الباب ، فما مقدار القوة المستعملة عن طريق ب عند بقاء الباب في وضع السكون ؟



المعلوم :

القوة أ = 30 نيوتن

المسافة أ =(0,45م)(جيب40)

المسافة ب = 0,38

الحل :

تستعمل معادلات التوازن لحل ولإيجاد القوة . فالحل يمكن ان يوجد عن طريق جمع عزوم الدوران المتولدة في المفصل عن طريق كلا القوتين .

مجموع عزوم الدوران = صفر

= (ق أ)(ز أ) – (ق ب)(ز ب)

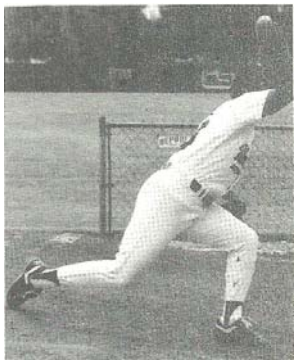
صفر = (30 ن)(0و45م) – (ق ب)(0,38م)

ق ب =22,8 نيوتن

تعتبر الأجسام في حالة الحركة في حالة توازن بجميع القوى المؤثرة الناتجة في اتجاهات متضادة ومتساوية بالمقدار ، هذه الفكرة عن طريق الرياضي الفرنسي D'Alembert وعرفت بمبدأ D'Alembert. ترجمات مستنبطة من معادلات التوازن الساكن . الذي يعمل على توحيد العوامل التي تعرف بمؤشرات القصور الذاتي ، وتعمل على وصف شروط التوازن الحركي . ان معادلات التوازن الحركي يجب ان تحدد كالأتي :

- ✓ مجموع القوى – الكتلة × مجموع التعجيلين الأفقي والعمودي = صفر
- ✓ مجموع عزوم الدوران – عزم القصور الذاتي × التعجيل الزاوي = صفر

أن المثل الشائع لمبدأ D'Alembert وهو التغير في القوة العمودية عند الصعود في مصعد، فبينما تسرع المصعد بالصعود الى الأعلى فان قوة القصور ستتولد بالاتجاه المعاكس وسيعتبر وزن الجسم محسوبا بميزان الزيادة في وزن المصعد . وعندما يهبط المصعد فان قوة القصور الذاتي المتجهة الى الأعلى ستعمل على خفض وزن الجسم محسوب بميزان الانخفاض في وزن المصعد. وعلى الرغم من إن وزن الجسم سيبقى ثابتا فان قوة القصور الأفقية ستغير مقدار قوة رد الفعل المحسوب على القياس.



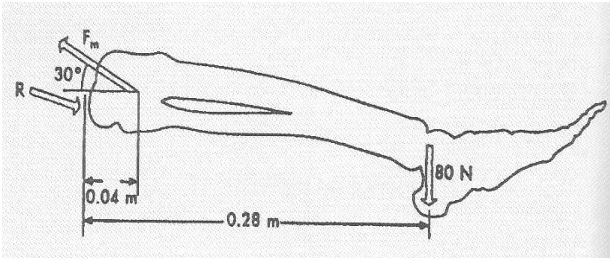
إن لاعبي الرمي المهرة غالبا ما يعملون على زيادة طول ذراع القوة بين يد الكرة ومحور الدوران الكلي للجسم عند إطلاق الرمية للعمل على زيادة تأثير عزم الدوران المتولد عن طريق العضلات.

مركز الجاذبية CENTER OF GRAVITY

ن كتلة الجسم هي عبارة عن المادة التي تكونه. النقطة الوحيدة هي التي ترتبط بكل الجسم ، والتي تتوزع حولها كتلة الجسم بالتساوي في جميع الاتجاهات. وتعرف هذه النقطة بمركز الكتلة أو مركز كتلة الجسم . في تحليل القوى الجاذبية للأجسام يمكن أن يشار إلى مركز الكتلة بمركز الجاذبية . ان النقطة التي يتوازن بها وزن الجسم بالتساوي وفي جميع الاتجاهات هي النقطة التي يكون عندها مجموع عزوم الدوران المتولدة عن طريق أوزان أجزاء الجسم تساوي صفر . يظهر التعريف بان الأوزان الموضوعة على جوانب متعاكسة تكون مساوية ويظهر كذلك بان عزوم الدوران المتولدة عن طريق الأوزان على الجوانب المتعاكسة ستكون متساوية . وكما موضح في (شكل 22-11) فان توليد وزن متساوي وعزم دوران متساوي على الجوانب متضادة من النقطة يمكن ان تكون مختلفة بشكل كبير . ان مصطلحات مركز الكتلة

ومركز الجاذبية تستخدم بشكل واسع مصطلحات بايوميكانيكية من قبل تعجيل مركز الكتله ومركز الجاذبية في التطبيقات البايوميكانيكية ، على الرغم من ان هذه المصطلحات تشير بالضبط الى نفس النقطة . ولان كتل الأجسام على الأرض خاضعة لقوة الجذب الأرضي فان مركز الجاذبي يصف بدقة تامة للمصطلحات الثلاثة لاستخدامها في التطبيقات البيوميكانيكية . ان مركز جاذبية مادة متجانسة تماما لكثافة متساوية ولذلك فان الكتلة المتجانسة وتوزيع الوزن ، يكون في مركز شكلها الهندسي ، فإذا كانت المادة حلقة متساوية فن مركز الجاذبية سيكون في مركز تجويف الدائرة . اضافة الى ذلك فعندما تتوزع الكتلة داخل مادة غير مستقرة ، فان مركز الجاذبية سيبذل في اتجاه الكتلة الأكبر ، كذلك فمن المكن ان يوضع مركز جذب مادة معينة خارج المادة (شكل 23-11) .

شكل 20-11 يمس أو يتصل الوتر الرباعي عظم الضنبوب بزاوية 30 درجة على بعد 4سم من مركز المفصل في الركبة . فعند تعليق ثقل 80 نيوتن على الكاحل وعلى بعد 28سم من مفصل الركبة . فما مقدار القوة المطلوبة للوتر الرابع لبقاء الساق في وضع عمودي ؟ ما مقدار واتجاه القوة ورد الفعل المبذول عن طريق الفخذ على عظم الضنبوب ؟ (أهمل وزن الساق وتأثير العضلات الأخرى)



المعلوم :

و =80نيوتن

م = 0,28 م

م و =0,04 م

الحل : يمكن استخدام معادلات التوازن الثابت لإيجاد الكميات المفقودة :

مجموع العزوم = صفر

= (ق جيب 30)(م ق) – (و)(م و)

= (ق جيب 30)(0,04م) – (80 ن)(0,28م)

ق =1120 نيوتن

يمكن استخدام معادلات التوازن الثابت لإيجاد المركبات الأفقية والعمودية لقوة رد الفعل المسلطة بواسطة الفخذ على عظم الضنبوب . إن مجموع القوى الأفقية ينتج كالتالي :

مجموع القوى الأفقية = صفر

= قوة رد الفعل الأفقي + (ق جيب 30) – و

صفر= قوة رد الفعل الأفقي + (1120 جيب 30) – 80 نيوتن

قوة رد الفعل الأفقي = – 480 نيوتن

أما مجموع القوى العمودية فسينتج التالي :

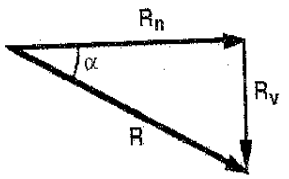
مجموع القوى العمودية = صفر

= قوة رد فعل العمودية – (ق جيب تمام 30)

= قوة رد فعل العمودية – 1120 جيب تمام 30

= 970

نيوتن



يمكن في هذه الحالة استخدام نظرية فيثاغورس لإيجاد مقدار القوة رد الفعل

الناتجة

قوة رد الفعل = $\sqrt{(-480\ ن)^2 + (970\ ن)^2}$

= 1082 نيوتن

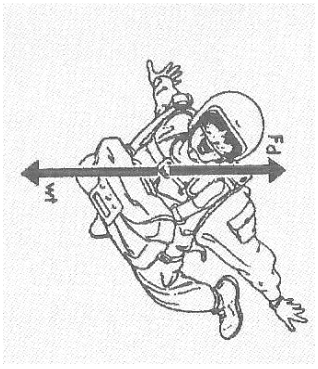
يمكن استخدام علاقة المماس يجاد زاوية انحراف قوة رد الفعل الناتج

$$أ = \frac{480\ ن}{970\ ن}$$

أ = 26,3

قوة رد الفعل = 1082 نيوتن 26,3 درجة .

شكل 21-11 رجل فضاء بوزن 580 نيوتن في حالة سقوط حر تعجيله – 8,8 م/ث2 أكثر من – 9,81 م/ث2 بسبب قوة مقاومة الهواء . فما مقدار قوة السحب المؤثرة على رجل الفضاء ؟



المعلوم :

و = –580 نيوتن

التعجيل = –8,8 م/ث2

$$ك = \frac{580 \text{ نيوتن}}{9,81 \text{ م/ث2}} = 59,12 \text{ كغم}$$

الحل :

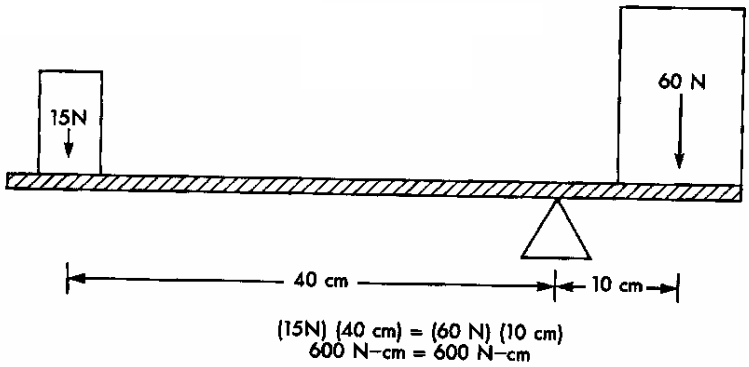
بما أن رجل الفضاء يعتبر في حالة توازن حركي ، فانه يمكن استخدام مبدأ D'Alembert . جميع القوى المشخصة المؤثرة هي قوى أفقية وذلك كي تستخدم معادلة مجموع التوازن الحركي للقوى الأفقية والتي تساوي صفر .

مجموع القوى الأفقية – ك × ت = صفر

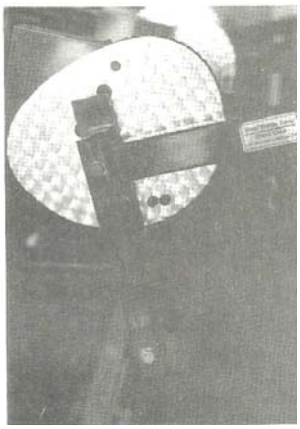
مجموع القوى الأفقية = −580 نيوتن + ق . نستبدل المعلومات الموجودة في المعادلة

−580 + ق − (59,12)(−8,8م/ث2) = صفر

ق = 59,7 نيوتن



(شكل 22–11) إن وجود عزوم الدوران المتساوية على جانبين متقابلين لمحور الدوران لا يستوجب وجود أوزان متساوية على الجانبين المتقابلين للمحور.



تصمم الحدبة في ماكنة تدريب المقاومة لربط المقاومة مع الفائدة الميكانيكية الحركية للعضلة.

موقع مركز الجاذبية Locating the Center of Gravity

إن موقع مركز الجاذبية لمادة مثل مضرب البيسبول، المقشة أو المجرفة، يمكن أن يحدد بطريقين : تتطلب الأولى استخدام نقطة ارتكاز لتحديد موقع نقطة الاتزان للمادة في ثلاثة مستويات مختلفة لان مركز الجاذبية هو النقطة التي تكون حولها كتلة موزعة بشكل متساوي ،كذلك فهي التي يكون حواها الجسم في حالة توازنه في جميع الاتجاهات . وبما ان موازنة بعض المواد في مستويات مؤكدة تكون صعبة . فان تعليق خط السقوط للمادة في ثلاثة مواقع مختلفة سيكون إجراءا بديلا .ان نقطة التقاطع للمسارات الثلاثة لخط السقوط تقترب من موقع مركز جذب الأرض(شكل23-11).

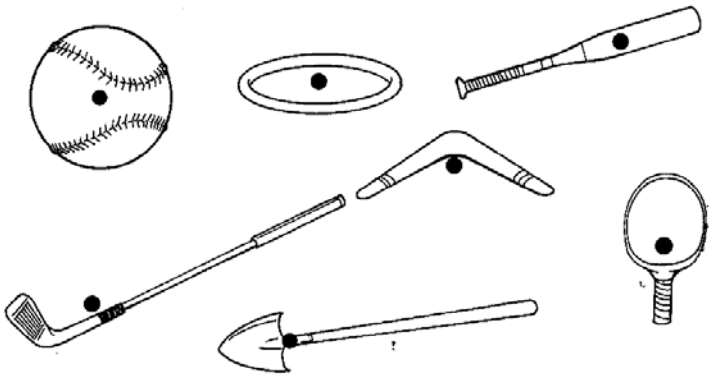
إن موقع مركز جذب الأرض للجسم من الأهمية بمكان وذلك لأنه من الناحية الميكانيكية ، سيسلك الجسم وكان كتلته مركزة على مركز الجذب الأرضي فعلى سبيل المثال فعندما يتأثر جسم الإنسان

كمقذوف فان مركز الجاذبية سيتبع مسار المقطع المكافئ ، بغض النظر عن كل التغيرات في شكل أقسام الجسم عندما يكون في الهواء.هنالك استدلال آخر وهو عندما يرسم متجه الوزن لأية مادة معروضة في مخطط حر للجسم ، فان متجه الوزن سيؤثر على مركز الجاذبية . ولان سلوك الجسيم الحركي يمكن ان يعرف عن طريق المسار التالي أو اللاحق لمركز جذب الجسم الكلي ، فان هذا العامل يمكن ان يدرس كمؤشر محتمل لكفاءة الانجاز في عدة أنواع من الرياضة.

- ✓ إن موقع مركز الجذب لجسم الإنسان يكون معقدا عن طريق الحقيقة التي تقول إن مكوناته (مثل العظم، العضلة ، الشحم) لها كثافات مختلفة تكون موزعة بشكل غير متساو في الجسم.

إن حركات الركض لطفل يافع تحتوي تذبذبات وتقلبات أفقية ملحوظة لمركز الجذب الأرضي

فعلى سبيل المثال ، فانه يفترض بان العدائين المهرة يعرضون تذبذب أفقي اقل من مركز الجاذبية عند الأداء . على الرغم من ان هذا لم يوثق بشكل جيد بالنسبة العدائين البالغين ، فعند الأطفال من عمر 4 – 7 سنوات ينخفض التذبذب العامودي لمركز الجاذبية والنضوج المصاحب لطريقة العدو .



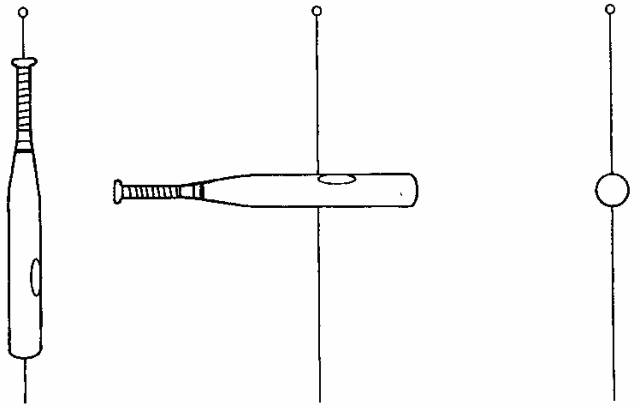
(شكل 23–11) يكون مركز الجاذبية نقطة مفردة مرتبطة بالجسم يكون حولها وزن الجسم متوازن بالتساوي وفي جميع الاتجاهات .

يكون مسار مركز الجاذبية عند الارتقاء في العديد من سباقات القفز احد العوامل التي يعتقد بأنها تعمل على زيادة المهارة عند الأداء الأقل مهارة . يشير البحث بان القفز بطريقة (الفوسبوري) للاعبي القفز العالي تعمل على انحدار وثني الجسم (خاصة لساق الإسناد) قبل الارتقاء مباشرة لخفض مركز الثقل وإطالة زمن القدم الساندة . ولهذا تتسبب في توليد الدفع والارتقاء الزائد . في القفز الطويل يحافظ الرياضيون الجيدون على خطوة العدو الطبيعية ، مع ارتفاع مركز الثقل

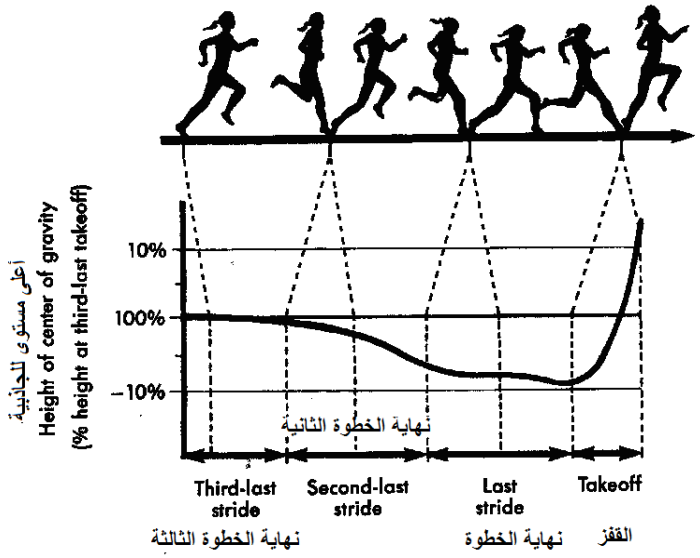
بصورة ثابتة تقريبا خلال الخطوة الأخيرة .أما عند الخطوة الأخيرة فهم يتميزون بانخفاض مركز الجاذبية او مركز الثقل ومن ثم زيادة ارتفاع مركز الجاذبية عند الذهاب الى خطوة القفز .

بين قافزي الزانة المهرة هنالك ارتفاع في مركز الجاذبية من الخطوة الأخيرة الثالثة عند الارتقاء ، وهذا يعود سببه الى رفع الذراعين عندما يستعد القافز الى تثبيت العصا . يشير البحث الى ان القافزين المهرة يخفضون الورك تدريجيا ومركز الثقل عند الارتقاء . ان أسترتيجية خفض مركز الثقل بشكل يسبق عملية الارتقاء يساعد الرياضي على إطالة المسار العامودي الذي يسرع عنده الجسم خلال الارتقاء .وبالنتيجة تسهيل السرعة العموديه العالية عند الارتقاء .

تحدد زاوية وسرعة
الارتقاء أساسا مسار حركة
مركز ثقل المنفذ خلال القفز



(شكل 24-11) إن طريقة التعليق لتحديد مركز الثقل تتطلب تعليق مادة من نقطة معينة حولها يكون الدوران حرا فعندما تستقر المادة ،فان خط السقوط يتعلق من نفس النقطة يمكن ان يستخدم للتأثير على الخط العامودي فوق المادة والذي يكون عنده المادة متوازنة،عندما يعاد الإجراء بمادة توضع في مستويين آخرين فان تقاطع الخطوط الثلاثة يقترب من مركز الثقل.



(شكل 25-11) ارتفاع مركز ثقل الجسم للرياضيين عند التحضير للارتقاء في الوثب الطويل

تحـدد زاويـة سـرعة الارتقـاء أساسـا مسـار حركـة مركـز ثقـل المنفـذ خـلال القفز، العامـل الوحيـد الأخيـر المـؤثر هـو مقاومـة الهـواء والتـي تعطـي تـأثير صغير جدا على الأداء في سباقات القفز .

مكان مركز جاذبية جسم الإنسان

Locating the Human Body Center of Gravity

يحتـوي موقـع مركـز جاذبيـة الجسـم علـى قسـمين أو أكثـر متحـركين ومتقـاطعين همـا أكثـر صـعوبة مـن الجسـم غيـر المجزأ.وذلـك لان شـكل الجسم يتغيـر فـي كـل مـرة.إذ يتغيـر توزيـع وزنـه وموقـع مركـز جاذبيتـه ففـي كـل مـرة تتحـرك بهـا الـذراع ، الإصـبع فـان موقـع مركـز الثقـل بشـكل عـام سيكون متغيرا على الأقل في الاتجاه الذي يتغير فيه الوزن.

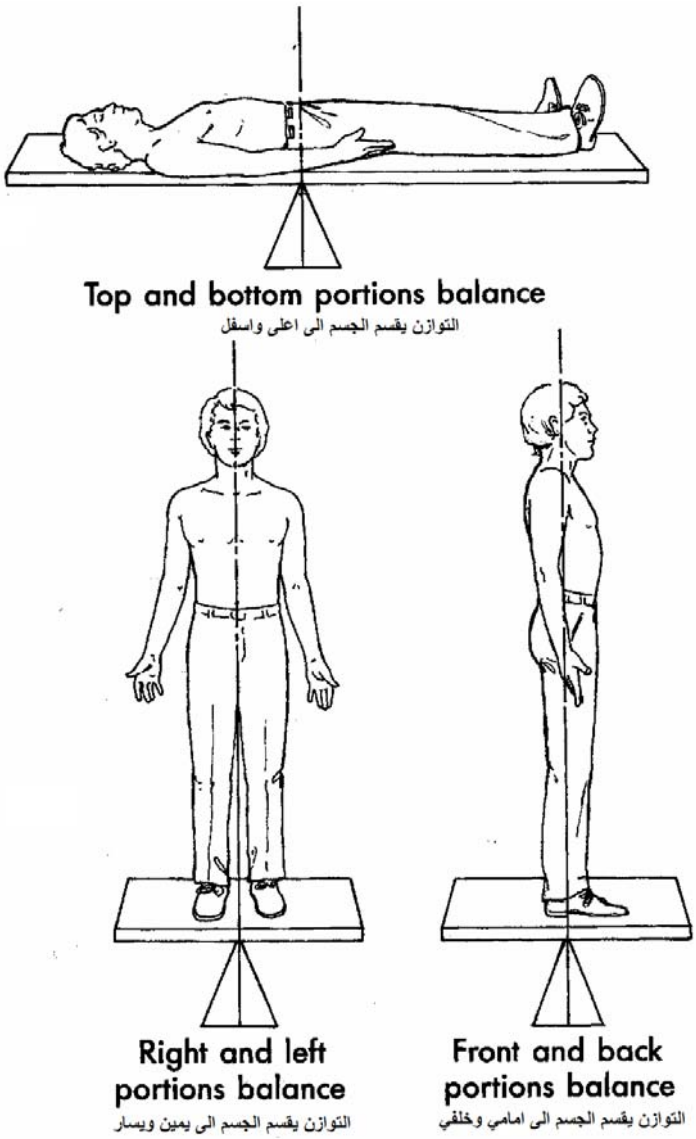
تحـدد بعـض الإجـراءات البسـيطة نسـبيا لتحديـد موقـع مركـز ثقـل الجسـم فـي العقـد السـابع عشـر ، اسـتخدم الرياضـي الايطـالي (Borelli) إجـراء بسـيط للتـوازن لموقـع مركـز الثقـل تطلـب وضـع شـخص علـى لوحـة خشـبية (شـكل 26-11). أفكـار معقـدة لهـذا الإجـراء تسـاعد فـي حسـاب موقـع المسـتوى الـذي يمـر خـلال مركـز ثقـل شـخص جـالس علـى لوحـة رد الفعـل ويتطلـب هـذا الإجـراء اسـتخدام مقيـاس منصـة بـنفس الارتفـاع كسـطح مقيـاس للـوزن. ولوحـة صـلبة مـع مسـاند ذات حافـة حـادة علـى كـل نهايـة (شـكل27-11).إن حسـاب موقـع المسـتوى الـذي يحتـوي مركـز الثقـل بتطلـب جمـع العـزوم الـدوران المـؤثرة حـول مسـند المنصـة . ان وزن جسـم المـادة التـي تـؤثر علـى مركـز الثقـل ، يعمـل علـى توليـد عـزم الـدوران فـي المنصـة باتجـاه واحـد ، قـوة رد فعـل المقيـاس علـى المنصـة وتشـري

القـراءة علـى مقيـاس توليـد عـزم دوران علـى مسـند المنصـة فـي الاتجـاه المضاد.

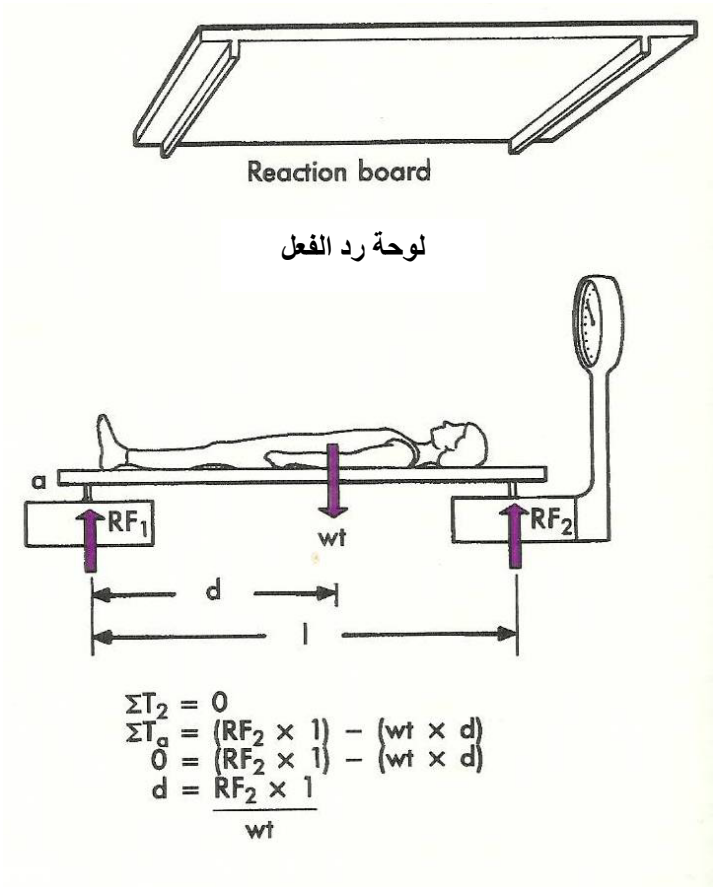
- ✓ لوحة رد الفعل reaction board: وهي عبارة عن لوحة مركبة خصيصا لتحديد موقع مركز ثقل الجسم.
- ✓ إن موقع مركز ثقل المادة المتعددة الأجزاء يتأثر بشكل كبير عن طريق مواقع الأجزاء الأثقل أكثر من الأجزاء الأخف من الجسم .

وعلـى الـرغم مـن إن المنصـة تعطـي قـوة رد فعـل فـوق اللوحـة فإنهـا لا تولـد عـزم دوران لان مسـافة تلـك القـوة مـن مسـند المنصـة يسـاوي صـفرا . وبمـا إن لوحـة رد الفعـل والمـادة همـا فـي تـوازن ثابـت فـان مجمـوع عزمـي الـدوران الـذين يـؤثران علـى مسـند المنصـة يجـب ان يكـون صـفرا، ومسـافة مســتوى ثقــل المــادة الــى المنصــة يجــب ان يكــون محســوبا (شـكل 28-11). إن الأجـزاء الأكثـر اسـتخداما لتقيـيم وتقـدير موقـع مركـز ثقـل الجسـم الكلـي مـن صـور لجسـم الإنسـان تعـرف بالطريقـة الجزئيـة Segmental method . يعتمـد هـذا الإجـراء علـى فكـرة انـه بمـا ان الجسـم متكـون مـن أجـزاء منفـردة لكـل مركـز ثقـل فـردي ، يكـون موقـع مركـز الثقـل الكلـي للجسـم ، هـو عمـل مواقـع مراكـز الثقـل الجزئيـة . تكـون بعـض أجـزاء الجسـم أكثـر كتلـة مـن الأجـزاء الأخـرى ولهـا تـأثير اكبـر علـى موقــــــــع مركــــــــز ثقــــــــل الجســــــــم . تجمـع نـواتج كـل موقـع لمركـز ثقـل أجـزاء الجسـم وكتلتـه وبالتـالي تقسـم علـى مجمـوع كافـة الكتـل الجزئيـة (كتلـة الجسـم الكليـة)، فتكـون النتيجـة هـي موقـع مركـز الثقـل الجسـم الكلـي تسـتخدم الطريقـة الجزئيـة بيانـات بمعـدل مواقع مراكز ثقل الجسم الفردية بما يتعلق بالنسبة المئوية لطول الجسم .

- ✓ الطريقة الجزئية segmental method هي عبارة عن إجراء لتحديد مركز الجسم الكلي لموقع الكتلة،بالاعتماد على الكتل ومواقع مركزا لكتلة لأجزاء الجسم الفردية .
- ✓ ان الطريقة الجزئية هي الطريقة الأكثر شيوعا من خلال برنامج الحاسوب .



(شكل 26–11) الإجراء البسيط أو الطريقة البسيطة نسبيا والمبتكرة بواسطة العالم الايطالي (Borelli) لإيجاد موقع مركز الثقل التقريبي لجسم الإنسان .



لوحة رد الفعل

شكل 27-11 بجمع عزوم الدوران في النقطة أ ، د (المسافة من مركز ثقل الشخص يمكن ان تحسب)

مجموع عزوم القوة = صفر

مجموع عزوم القوة = (قوة رد الفعل × 1) − (و × م)

صفر = قوة رد الفعل × 1 − (و × م)

م = قوة رد الفعل

في هذه الصيغة ، فان Y eg، X eg هما نظائر مركز ثقل الجسم الكلي ، و X s و Y s هما نظائر مركز ثقل الجزء المنفرد . و m s هو كتلة الجزء الفردي ولهذا فان موقع مركز ثقل كل جزء يحدد ويضرب بكتلة الجسم الثاني حرف X s و m s هما مجموع كل أجزاء الجسم يجمعان ثم يقسمان على كتلة الجسم الكلية لتنتج نظير موقع مركز الثقل الكلي . نفس هذا الإجراء يتبع لحساب نظير لموقع مركز ثقل الجسم الكلي (شكل 29-11) .

الثبات والتوازن STABILTY AND BALANCE

إن الفكرة الأقرب لمبادئ التوازن هي الثبات. ويعرف الثبات على انه من الناحية الحركية مقاومة كلا التعجيلين الزاوي والخطي أو على انه مقاومة إعاقة أو تشويه التوازن في بعض الحالات مثل مصارعة السامو (sumo) فمن المطلوب زيادة حالة الثبات وفي حالات اخرى من الأفضل بالنسبة للرياضي تقليل حالة الثبات عن قصد مثل ما يحصل عند العداءين والسباحين في مرحلة التحضير قبل البدء بالسباق يتخذون وضع للجسم يسمح لهم بالتعجيل بسرعة وسهولة عند سماع صوت مسدس البدء.

- ✓ الثبات Stability مقاومة تغيير التوازن
- ✓ التوازن (Balance) :قابلية الفرد في السيطرة على التوازن

شكل 28-11 جد المسافة من مسند المنصة الى مركز ثقل الجسم المسنود(الجسم الموضوع القريب لوزن أو ثقل اللوحة مثل ما وضعت فقط)؟

المعلوم :

كتلة الجسم = 75كغم

قراءة المقياس = 44كغم

أ ب =2سم

الحل :

وس = (73كغم)(9,81م/ث2)

و ب = (44كغم)(9,81م/ث2) = 431,64 نيوتن

استخدام معادلة التوازن الثابت

مجموع عزوم الدوران = صفر

= (و ب)(أ ب) – (و س) (م)

= (431,64نيوتن)(2م)– (716,13 نيوتن)(م)

$$= \frac{(٤٣١,٦٤\text{نيوتن})(٢\text{م})}{(٧١٦,١٣\text{ نيوتن})(\text{م})}$$

م = 1,2 م

إن العوامل الميكانيكية المختلفة تؤثر على ثبات الجسم. وحسب قانون نيوتن الثاني (القوة = الكتلة × التعجيل)، فان الجسم الأكثر كتلة يتطلب قوة اكبر لتوليد تعجيل، فرجل الخط الذي يتوقع المحافظة على موقعه بالرغم من القوة التي تسلط عليه من رجل الخط الذي يواجهه هو أكثر ثباتا من الناحية الحركية عندما تكون كتلتهم اكبر، وعلى النقيض من ذلك فان رياضيي الجمباز اقل منفعة في حال كتلتهم كانت اكبر وذلك لان أداء المهارات يتطلب تغيير الثبات .

ان القيمة الأكبر للاحتكاك بين المادة والسطح في حالة الاحتكاك هي القوة الأكبر المطلوبة لبدء الحركة أو المحافظة عليها.إن الزلاجات تصمم كي يصبح الاحتكاك بين الزلاجة والجليد في أدنى درجة، يساعد في التغير السريع للثبات عند بداية الركض أو السباق. وكذلك تصمم مضارب الكرة في الكولف، قفازات القطن لزيادة ثبات قبضة اليد للاعب على الأداة.

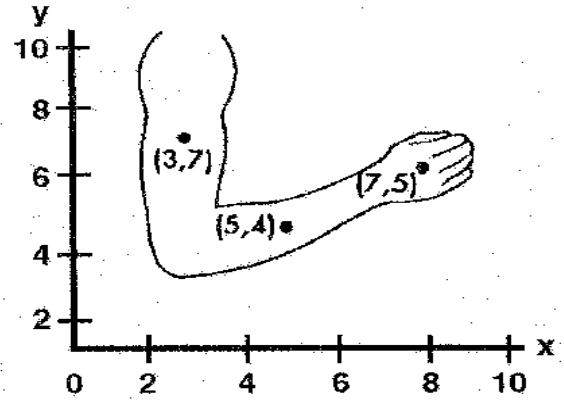
هنالك عامل آخر يؤثر على الثبات وهو حجم قاعدة الإسناد base of support وهذا يتألف من المساحة المحاطة الحافات الخارجية المتصلة بسطح أو سطوح الإسناد (شكل30-11).عندما ينقل خط نشاط وزن أو ثقل الجسم (متجه من مركز الثقل) من خارج قاعدة الإسناد ، فعزم الدوران المتولد الذي يميل الى توليد حركة زاوية للجسم . وبالنتيجة تغيير الثبات بمركز الثقل الساقط باتجاه الأرض. قاعدة الإسناد الأكبر هي الأقل احتمالا في حالة حدوث ذلك. الفنانون القتاليون يتخذون وقوف واسع عند حالات الدفع لزيادة الثبات وعكس ذلك، فان العداءون عند البداية يحافظون على قاعدة إسناد صغيرة نسبيا تمكنهم من تغيير الثبات بشكل سريع في بداية السباق.

المحافظة على التوازن في النقطة التي يتوازن عليها الراقص فوق أصابعه لقدم واحدة ، يتطلب تنظيم مستمر لموقع مركز الثقل خلال حركات الجسم الدقيقة.

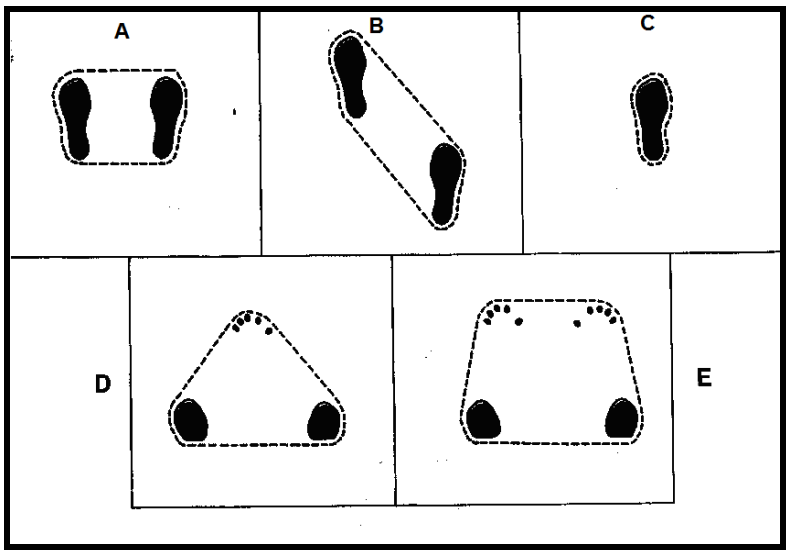
أن الموقع الافقي لمركز الثقل بالمقارنة مع قاعدة الإسناد يمكن كذلك أن يؤثر على الثبات. ان الموقع الافقي الأقرب لمركز الثقل لحدود قاعدة الإسناد، هو الموقع الذي يتطلب اقل قوة أو اصغر قوة لدفعه خارج قاعدة الإسناد وبالتالي تغيير التوازن.

شكل 29–11 أن النظيرين x ، y لمراكز نقل الذراع العلوية ، وجه الذراع وأجزاء اليد تزود على المخطط أدناه . استخدم الطريقة الجزئي لاتجاه مركز الثقل لكامل الذراع باستخدام البيانات المزودة لكتل الأجزاء.

المعلوم :



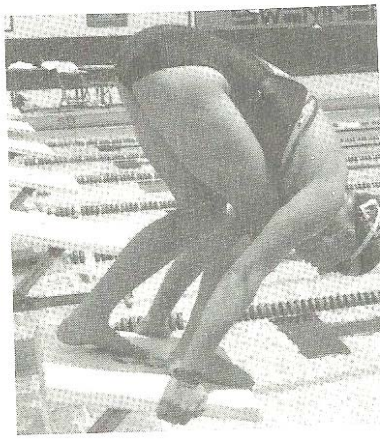
الجزء	الكتلة x%	x (الكتلة %)	Y	(Y) الكتلة %
الذراع الأعلى	٠,٤٥	١,٣٥	٧	٣,١٥
وجه الذراع	٠,٤٣	٢,١٥	٤	١,٧٢
اليد	٠,١٢	٠,٨٤	٥	٠,٦٠
المجموع		٤,٣٤		٥,٤٧



شكل 30-11 قاعدة الإسناد لـ أ) وقوف المربع ب) وقوف زاوي
جـ) لقدم واحدة د) للوقوف من ثلاث نقاط و هـ) للوقوف من أربع نقاط

- ✓ إن منـــاطق الاحتكـــاك بـــين أجـــزاء الجســـم وســـطح الإســـناد هـــي المناطق المضللة وقاعدة الإسناد هي المحصورة بالخطوط.

إن الوقوف على نقطة يتطلب اتزان عال لان الحركة الجانبية لخط جاذبية الراقص خارج القاعدة الصغيرة للإسناد ستؤدي الى فقدان التوازن.



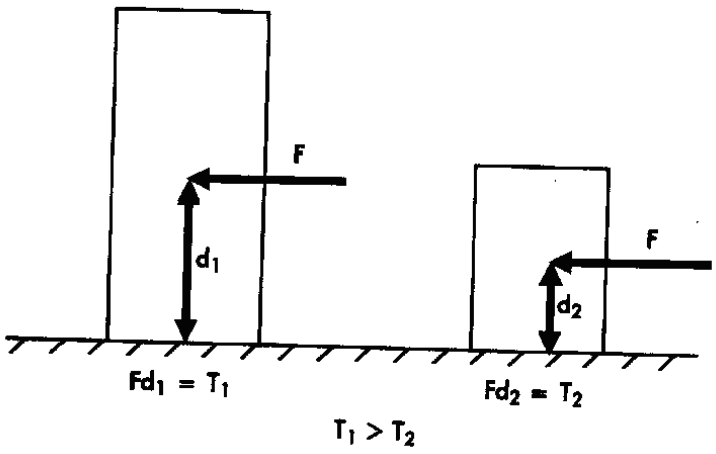
السباح فوق موقع الانطلاق يكون مركز ثقله قريب إلى الحد الأمامي لقاعدة الإسناد للتحضير وللاستعداد لكسب التعجيل الأمامي.

فالرياضيين في موقع بدء السباق يتخذون وقفات يكون فيها مركز الثقل قريبا من الحافة الأمامية لقاعدة الإسناد . وعلى النقيض من ذلك ففي حالة توجب ان تكون القوة الافقية ، فان الثبات سيكون مدعوما في حالة وضع مركز الثقل قريبا الى القوة القادمة ، وبما إن مركز الثقل يمكن أن ينقل بعيدا قبل أن يكون متحركا خارج قاعدة الإسناد.امن مصارعو السامو يميلون أو ينحنون أماما باتجاه خصومهم عندما يكونوا مندفعين.

ان ارتفاع مركز الثقل مقارنة بقاعدة الإسناد يمكن ان يؤثر على الثبات . الوضع الأعلى لمركز الثقل هو عزم الدوران الأكبر المتولد في حالة اجتياز الجسم لتغيير زاوي (شكل 31-11).عند حدوث الهزة الأرضية تسبب حركة الأرض في اهتزاز البنايات افقيا. ستواجه البنايات الأعلى (بمراكز الثقل الأعلى) التي لديها حركة عمودية اكبر من البنايات ذات الارتفاع الأدنى وسيكون هناك حركة افقية اكبر. غالبا ما

ينحني الرياضيون عندما يكون مرغوبا أو مطلوبا الثبات الإضافي أو الزائد. ان التعبير الشائع بالنسبة للبادئين في العديد من الرياضات هو (ثني ركبتيك).

وعلى الرغم من ان مبادئ الثبات هذه (المجموعة في الصندوق) حقيقية بشكل عام، فان استعمال جسم الإنسان يجب ان يكون بالتمييز على ان العوامل العضلية العصبية تكون ذات تأثير أيضا . إن التغيير في وضع القدم وجد للتأثير على قياسين لتوازن الوقوف – موقع خط الثقل وتأرجح الوضع.ان البحث أوضح بان التأرجح بالمستوى الأمامي سينخفض عندما تتسع قاعدة الإسناد أو الارتكاز إلى 15 سم2 ولكن زيادة عرض قاعدة الارتكاز فوق 15 سم لن يقلل كثيرا من تأرجح الجسم في المستوى الأمامي .



(شكل 31–11) أعلى موقع لمركز الثقل هو المقدار الأكبر لعزم الدوران ، فحركته تولد حول تقاطع خط الجاذبية وسطح الإسناد.

إذ وجد الباحثون كذلك انه عندما يقف الإنسان بقدم واحدة بعيدة عن الأخرى، فستزداد التأرجح بالمستوى الأمامي ولكن الزيادة الواضحة ستحدث كذلك في التأرجح بالمستوى المائل. إن زاوية وضع القدم خلال الوقوف الطبيعي لا تؤثر على التوازن إضافة إلى ذلك فان الإصبع الكامل في الوقوف سيسبب تأرجح اكبر للجسم . ان مزيد من البحث مطلوب لتوضيح استعمال مبادئ الثبات في توازن جسم الإنسان.

مبادئ الثبات الميكانيكي
PRINCIPLES OF MECHANICAL STABILTY

عندما تكون العوامل الأخرى ثابتة فستزداد قابلية الجسم على المحافظة على التوازن عن الطريق التالي :

1. زيادة كتلة الجسم .
2. زيادة الاحتكاك بين الجسم والسطح او السطوح المحتكة .
3. زيادة حجم قاعدة الإسناد باتجاه خط فعل القوة الخارجية .
4. وضع مركز الجاذبية عموديا قرب حافة قاعدة الإسناد فوق القوة الخارجية القريبة
5. وضع مركز الجاذبية أفقيا باوطا ما يمكن .

المـــلخـــــص SUMMARY

تتولـد الحركـة الدورانيـة بواسـطة عـزم الـدوران . وهـي كميـة متجهـة بمقـدار واتجـاه عنـدما يـزداد الشـد العضـلي فانـه سـيولد عـزم دوران فـي المفصـل او المفاصـل المـارة كمـا ان دوران قسـم مـن الجسـم يحـدث باتجـاه عـزم دوران المفصـل النـاتج ميكانيكيـا فـان وظيفـة العظـام والعضـلات هـي وظيفـة غالبيـة المفاصـل كنظـام عتلـة مـن الصـنف الثالـث ، مركبـة بشـكل جيـد لزيـادة معـدل الحركـة وسـرعة الحركـة ولكنهـا تحتـاج قـوة عضـلية بمقـدار اكبـر مـن تلـك المقاومـة التـي يمكـن التغلـب عليهـا ان الزاويـة التـي تسـحب عليهـا العضـلة علـى العظـم تـؤثر كـذلك علـى فعاليتهـا الحركيـة لان مركبة التدوير لقوة العضلة فقط تعمل على توليد عزم دوران المفصل .

عنـدما يكـون الجسـم دون حركـة فانـه فـي حالـة تـوازن ولكـن سـاكن . ان الشـروط الثلاثـة للتـوازن السـاكن هـي مجمـوع القـوة العاموديـة يسـاوي صـفر ومجمـوع القـوة الافقيـة يسـاوي صـفر ومجـوع عـزوم الـدوران يسـاوي صـفر. أمـا الجسـم فـي حـال الحركـة فيكـون فـي حالـة تـوازن حركـي عنـدما يأخـذ بالاعتبـار عوامـل القصـور الـذاتي ،إذ إن السـلوك الحركـي للجسـم الخاضع للقوة يتأثر كثيرا بموقع مركز الثقل .

النقطـة التـي تتـوازن عنـدها وزن الجسـم بالتسـاوي فـي جميـع الاتجاهـات . الإجـراءات المختلفـة المتـوفرة لتحديـد موقـع مركـز الثقـل : يكـون الثبـات الميكـانيكي للجسـم هـو مقاومتـه للتعجيلـين الـزاوي والمسـتقيم. وهنالـك عـدد مـن العوامـل التـي تـؤثر علـى ثبـات الجسـم وتتضـمن الكتلـة ، الاحتكاك ، موقع مركز ثقل الجسم وقاعدة الارتكاز .

أختبر معلوماتك

1.لماذا لاتسبب القوة الموجهة خلال محور معين للدوران الدوران في ذلك المحور

2.لماذا يتأثر ميل القوة المؤثرة على جسم معين على مقدار عزم الدوران الذي يتولد في محور الدوران داخل الجسم ؟

3.صبي يزن 23 كغم يجلس على بعد 1,5 م من محور الدوران أرجوحة في أي مسافة من محور الدوران يجلس صبي آخر يزن 21 كغم على الجانب الاخر عن محور الدوران لموازنة الأرجوحة .

4.ما مقدار القوة التي يجب أن تنتج بواسطة العضلة ذات الرأسين على الذراع بمسافة عمودية 3سم من محور الدوران في مفصل المرفق لحمل وزن 200نيوتن بمسافة عمودية 22سم من مفصل المرفق ؟

(الجواب : 1667 نيوتن).

5.شخصان متقابلان يدفعان باب متحركة في حالة دفع الشخص أ الباب بقوة 40 نيوتن في مسافة عمودية 20سم من المفصل ودفع الشخص ب الباب بقوة 30 نيوتن وعلى بعد 25 سم من الباب فما عزم الدوران الناتج والمؤثر على مفصل الباب وبأي طريق ستتأرجح الباب ؟ (الجواب : عزم الدوران الافقي = 0,5 نيوتن في الإجابة الذي يدفع به أ)

6.إي صنف من العتلات ينتمي مضرب الكولف ، الباب المتأرجحة والمكنسة ؟

7.هل الاستفادة الحركية لعتلات الصنف الأول اكبر من ، اقل من أو تساوي 1؟وضح ذلك

8.باستخدام مخطط حدد مقادير الدوران ومركبات التثبيت لقوة عضلة 100 نيوتن تؤثر بزاوية 20 درجة مع العظم ؟ (الجواب : مركبة الدوران = 34 نيوتن ، مركبة التثبيت = 94 نيوتن)

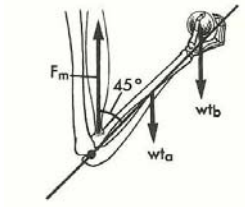
9.قطعة من الخشب موضوعة دون حركة على منضدة بالرغم من استعمال قوة عمودية 2 نيوتن ما مقدار قوة رد الفعل وقوة الاحتكاك التي تؤثر على جسم الخشبة ؟ (الجواب : قوة رد الفعل = 98,1 نيوتن القوة = 2 نيوتن) .

10.لمفصل واحد للطرف السفلي، وضح سبب حدوث عزم دوران لامركزي خلال المشي.

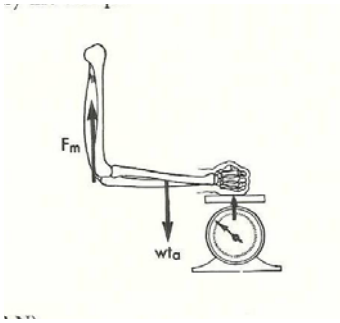
11.اختر واحدة من مهارات الحركة للإنسان التي تعرف بها وارسم صورة توضح كيفية توقع تغيير ارتفاع مركز الثقل خلال المهارة.استخدم شكل (29-13) كنموذج

12.يد وذراع أمامي بوزن 35 نيوتن موضوعان بزاوية 45درجة لعضد مائل أفقيا.مركز ثقل اليد والذراع الأمامية موضوعان على مسافة 15سم من مركز المفصل في المرفق وتتصل عضلات ثني المرفق بمعدل مسافة 3سم من مركز المفصل .وافترض بان العضلات تتصل بالعظام بزاوية 45درجة.

أ.ما مقدار القوة التي يبذلها بواسطة عضلات ثني الذراع الأمامية للمحافظة على هذا الوضع.



ب.ما مقدار القوة التي يجب ان تبذل بواسطة عضلات ثني الذراع الأمامية في حال حمل ثقل بوزن 50 نيوتن في اليد بمسافة على طول الذراع 25سم؟(الجواب أ.175 نيوتن ب.591.7 نيوتن

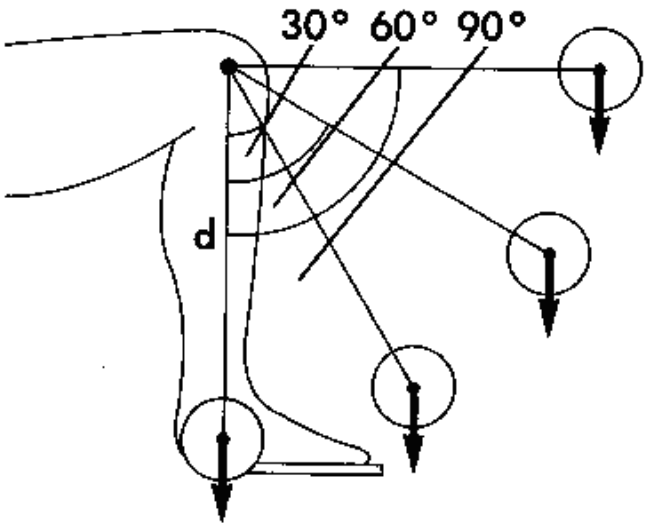


13.يد تبذل قوة 90نيوتن على مقياس بمسافة 32 سم من مركز المفصل في المرفق،ففي حالة اتصلت العضلة ذات الرؤوس الثلاثة بعظم الزند بزاوية 90 درجة والمسافة 1سم من مركز مفصل المرفق،في حال وزن اليد والذراع الأمامية كان

40 نيوتن مع مركز ثقل الذراع الأمامي واليد موضوع على مسافة 17 سم من مركز مفصل المرفق.فما مقدار القوة المبذولة عن طريق العضلة ذات الثلاث رؤوس؟ (الجواب733.3 نيوتن) صورة .

14. مصاب في الركبة في مرحلة إعادة الشفاء يؤدي تمرين مد الركبة مرتدياً حذاء يزن 15 نيوتن . أحسب مقدار عزم الدوران المتولد في الركبة عن طريق حذاء النقل أو الوزن في المواضع الأربعة الموضحة في المخطط . يعطى مسافة 0.4 بين مركز جاذبية حذاء الثقل ومركز المفصل على الركبة .

الجواب / رسم أ. صفر / ب ، 3 ن . م / حـ ، 5 ، 2 ن . م / ء ، 6 ت . م

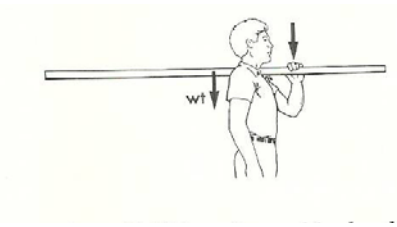


15. شخص يزن 600 نيوتن يرفع حقيبة تزن 180 نيوتن كي يكون مركز ثقل الحقيبة 20 سم الى جانب موقع مركز ثقل الشخص قبل رقع الحقيبة، فاذا لم ينحني الشخص بشكل يساوي الحمل المضاف ما هو لمكان الذي يشكل مركز ثقل الشخص والحقيبة على التوالي إلى موقع مركز ثقل الشخص الأول ؟

الجواب / يتغير 6،4 سم باتجاه الحقيبة.

16. ينحني عامل ويرفع صندوق يزن 90 نيوتن بمسافة 0،7 م من محور الدوران من عموده الفقري بإهمال تأثير وزن الجسم ، ما مقدار القوة المضافة المطلوبة لعضلات الظهر السفلى بمعدل ذراع قوه 6سم لثبات واستقرار الصندوق بالوضع المرسوم ؟ الجواب / 1050 نيوتن

17. رجل يحمل عارضة بطول 3 م تزن 32 نيوتن فوق كتفه إذا امتدت العارضة بمسافة 1،8 م خلف كتفه و 1،2 م امام الكتف ما مقدار القوه التي يتوجب على الرجل استعمالها أفقيا بيده على اللوحة 0،2 / أمام الكتف لثبات اللوحة في هذا الوضع ؟ (افترض بان وزن اللوحة موزع بالتساوي على طولها)



الجواب / 48 نيوتن.

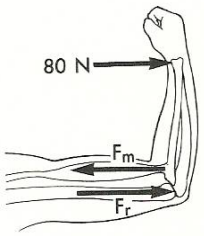
18. شخص يستعمل قوة جانبية بوزن 80 نيوتن أمام اليد بمسافة 25 سم من محجور الدوران في المرفق ، تقترب العضلة العضدية الكبيرة الى نصف القطر بزاوية 90 وبمسافة 3 سم من مركز متصل المرفق :

أ) ما مقدار القوة المطلوبة للعضلة العضدية لاستقرار الذراع في هذا الوضع ؟

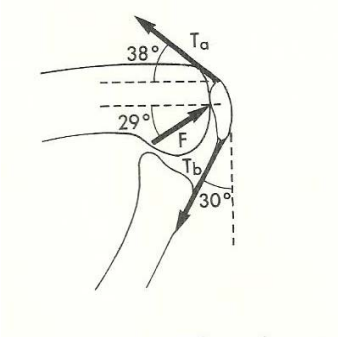
ب) ما كمية قوة رد الفعل المبذول بواسطة عظم العضد على عظم لزند ؟

الجواب / أ) 666،7 نيوتن ب) 586،7

19. تسلط الأربطة Ta و Tb على الرضفة ويسلط الفخذ F قوة على الرضفة، فإذا كانت مقدار Tb هو 80 نيوتن ، فما مقدار Ta ، F إذا لم يحدث حركة في المفصل ؟



الجواب / Ta = 44،8 نيوتن F =86،1 نيوتن



20. تجربة عن طريق إزالة أطار السيارة بواسطة آلة فتح براغي الإطارات فإذا كانت هذه الأداة على بعد قصير من المقبض وعلى بعد أطول من المقبض . أكتب قطعة توضح فيها حلول وأرسم مخطط جسم حر موضحاً فيه القوة المستعملة، المقاومة ، محور الدوران . ما الذي يعطي المقاومة؟

21. وضع عصا تقاطع ظهر الكرسي وعلق ثقل أثنين باون على أحدى نهايتي العصا وضع ثقل بوزن 5 باونات على الجانب الأخر من العصا لغرض توازن الأوزان أحسب وسجل مسافتي الثقلين عن المسند وأكتب توضيحاً لنتائجك .

22. نفذ تمرين الالتواء بالظروف التالية (1- رفع وزن خمسة باون فوق الرأس 2. الأذرع متقاطعة عبر الصدر 3. الأيدي خلف الرقبة . أكتب قطعة توضح استنتاجاتك وأرسم مخطط لجسم حر موضحاً القوة المستعملة ، المقاومة ، محور الدوران .

23. استخدام طريقة لوحة رد الفعل لحساب مواقع المستويات المائل الأمامي والمستعرض لمركز جاذبية المادة في الوضع التشريحي . كرر الحسابات بالمادة 1. مد الذراعين فوق الرأس و 2. مد ذراع واحدة الى اليمين . أجلب نتائجك في لائحة وأكتب قطعة للتوضيح.

24. استخدام صورة شخص من مجلة والبيانات الانثروبومترية من الملخص (d). أحسب وأشر موقع مركز الثقل الجسم اتلكلي باستخدام الطريقة المائلة . أولا وقيس المحورين x و y حول الصورة ثم أشر المواقع التقريبية للمراكز المائلة للثقل فوق الصورة باستخدام البيانات من الملخصين d. أخيرا كون لوحة أو لائحة باستخدام اللوحة في المسألة 7 كنموذج .