الفصل الثالث

التحليل الكمي البيوميكانيكي للأداء الرياضي: منهجيات القياس والتفسير



قائمة محتويات الفصل الثالث

التحليل الكمي في البيوميكانيكا والتحليل الحركي

1. **مدخل إلى التحليل الكمي في البيوميكانيكا**
2. **القياس البيوميكانيكي: المبادئ والأسس**
3. **مستويات التحليل الكمي البيوميكانيكي**
4. **التحليل الزمني للحركة**
5. **التحليل الكينماتيكي للحركة**
6. **التحليل الكيناتيكي (الديناميكي)**
7. **مركز الثقل والاتزان في الحركة البشرية**
8. **أدوات وتقنيات التحليل البيوميكانيكي**
9. **منهجية وخطوات التحليل الكمي البيوميكانيكي**
10. **جمع البيانات البيوميكانيكية**
11. **التطبيقات العملية للتحليل الكمي**
12. **التطورات الحديثة في التحليل البيوميكانيكي**

أهداف الفصل الثالث

التعرف على مفهوم التحليل الكمي في البيوميكانيكا وأهميته في دراسة الأداء الحركي .

فهم العلاقة بين المتغيرات الكينماتيكية والكيناتيكية وتأثيرها على جودة الأداء الرياضي .

إتقان منهجيات القياس البيوميكانيكي المختلفة في المختبر والميدان .

التعرف على الأدوات والتقنيات الحديثة المستخدمة في جمع وتحليل البيانات الحركية .

تحليل المكونات الزمنية للحركة وربطها بالكفاءة والأداء المهاري .

تفسير البيانات الكمية واستخدامها في تقييم الأداء واتخاذ القرارات التدريبية .

التعرف على مستويات التحليل البيوميكانيكي (كينماتيكي، كيناتيكي، طاقي، عصبي عضلي) .

تطبيق خطوات التحليل الكمي بشكل منهجي من جمع البيانات حتى تفسير النتائج .

فهم دور التحليل الكمي في الوقاية من الإصابات وتحسين الأداء الرياضي والتأهيلي .

الفصل الثالث

التحليل الكمي في البيوميكانيكا والتحليل الحركي

مفهوم التحليل الكمي

التحليل الكمي هو عملية **قياس موضوعي** للأداء الحركي باستخدام متغيرات رقمية قابلة للرصد، مثل الإزاحة، السرعة، العجلة، القوى، والطاقة. ويهدف إلى تحويل الأداء الحركي من وصف كيفي إلى بيانات رقمية تساعد في اتخاذ قرارات تدريبية وعلاجية دقيقة.(Knudson, 2013)

وفقًا للتوجهات الحديثة في البيوميكانيكا، يمثل التحليل الكمي أحد الأسس الرئيسة لفهم آليات الأداء وتحسينه؛ إذ يتيح وصفًا علميًا للعلاقات بين القوى الخارجية والداخلية وتأثيرها على الحركة.(Winter, 2009)

أهمية التحليل الكمي

تكمن أهمية التحليل الكمي في:

- تقديم بيانات رقمية تعكس واقع الأداء الحركي.
- تقييم الكفاءة الميكانيكية والفسيولوجية للحركة.
- مقارنة الأداء بمعايير مرجعية.(Normative Data)
- دعم اتخاذ القرار التدريبي والعلاجي.
- الوقاية من الإصابات عبر رصد مؤشرات الحمل الميكانيكي.

وتشير الدراسات الحديثة إلى أن دمج التحليل الكمي مع الذكاء الاصطناعي وأنظمة التحليل الحركي المتقدمة يعزز دقة التشخيص وتحليل الأنماط الحركية.(He et al., 2025)

التحليل الكمي البيوميكانيكي

يعتمد التحليل الكمي البيوميكانيكي على ثلاثة مستويات رئيسة:

أ) التحليل الزمني(Temporal Analysis)

يقيس الزمن المستغرق في أداء المهارة أو مراحلها المختلفة. ويعد الزمن متغيرًا حاسمًا في تقييم الإيقاع الحركي والكفاءة الزمنية.

أمثلة تطبيقية:

- زمن الارتقاء في الوثب الطويل.
- زمن الاستجابة في المهارات الدفاعية.
- زمن مراحل الجري والعدو.

التطور الحديث:

تستخدم الأنظمة الزمنية الرقمية عالية الدقة (High-Speed Timing Systems) لقياس الفروق الزمنية الصغيرة التي تؤثر في الأداء.(Winter, 2009)

ب) التحليل الكينماتيكي(Kinematic Analysis)

يعنى بوصف الحركة من حيث:

- الإزاحة(Displacement)
- السرعة(Velocity)
- العجلة(Acceleration)
- الزوايا المفصلية(Joint Angles)

ويمثل التحليل الكينماتيكي الأســـاس لفهم جودة الأداء دون الحاجة إلى قياس القوى مباشـــرة (Knudson & Morrison, 2002).

التطورات الحديثة:

- أنظمة التقاط الحركة ثلاثية الأبعاد.
- التحليل باستخدام الذكاء الاصطناعي.
- تحليل الحركة بدون علامات.Markerless Motion Capture

ج) التحليل الكيناتيكي(Kinetic Analysis)

يركز على دراسة القوى المؤثرة في الحركة، سواء كانت:

- قوى خارجية.(External Forces)
- قوى داخلية.(Internal Forces)
- عزوم القوى.(Moments)

ويمثل فهم القوى أحد الأسس لتطوير الأداء وتقليل مخاطر الإصابات.(Hay & Reid, 1988)

أدوات القياس:

- منصات قياس القوة.(Force Platforms)
- حساسات الضغط.
- أنظمة التحليل الديناميكي.

الخطوات العامة للتحليل الكمي

1. تحديد هدف التحليل.
2. وصف المهارة الحركية.
3. اختيار المتغيرات المناسبة.
4. جمع البيانات.
5. تحليل البيانات إحصائيًا.
6. تفسير النتائج.
7. تقديم توصيات تطبيقية.

وتؤكد الأدبيات الحديثة على أن جودة التحليل تعتمد على دقة البيانات ومدى ملاءمتها للأهداف البحثية (Knudson, 2013).

أدوات القياس والتحليل

الأدوات الرقمية

- كاميرات عالية السرعة.
- منصات القوة.
- حساسات الحركة.
- أنظمة التحليل الحاسوبي.

التطبيقات الحديثة

- تحليل الأداء باستخدام الذكاء الاصطناعي.
- النمذجة البيوميكانيكية.
- تحليل البيانات الضخمة.(Big Data)

وتسهم هذه الأدوات في تقديم صورة شاملة للأداء الحركي.(He et al., 2025)

7.القياس البيوميكانيكي: مبادئ وأهمية

القياس هو أساس التحليل الكمي؛ إذ يتيح تحويل الظواهر الحركية إلى بيانات رقمية قابلة للتحليل. وتشمل القياسات:

- الزمن.
- السرعة.
- العجلة.
- القوى.

ويجب أن تتم عملية القياس في بيئة مضبوطة لتقليل تأثير العوامل الخارجية.(Winter, 2009)

جمع البيانات: المختبر والميدان

أ) المختبر

يوفر المختبر بيئة مضبوطة للتحليل، لكنه قد يختلف عن بيئة الأداء الفعلية.

المزايا:

- التحكم في الظروف.
- دقة القياس.

العيوب:

- اختلاف البيئة عن الواقع.

ب) الميدان

يتيح التحليل في بيئة الأداء الطبيعية.

المزايا:

- واقعية البيانات.
- تحليل الأداء في سياقه الطبيعي.

العيوب:

- صعوبة التحكم في المتغيرات.

وتشير الدراسات الحديثة إلى أهمية الدمج بين المختبر والميدان للحصول على بيانات شاملة (Pinder et al., 2020).

.المتغيرات البيوميكانيكية

المتغيرات الكينماتيكية

- السرعة.

- الإزاحة.
- الزوايا المفصلية.

المتغيرات الكيناتيكية

- القوى.
- العزوم.
- الطاقة.

وتعد هذه المتغيرات مؤشرات أساسية لتقييم الأداء.(Knudson & Morrison, 2002)

التطبيقات العملية للتحليل الكمي

في الرياضة

- تحسين الأداء.
- تصحيح الأخطاء.
- الوقاية من الإصابات.

في التأهيل

- تقييم الحركة الوظيفية.
- تصميم برامج إعادة التأهيل.

في البحث العلمي

- تطوير النظريات البيوميكانيكية.
- دراسة أنماط الحركة.

التطورات الحديثة(2020–2025)

تشهد البيوميكانيكا تطورًا ملحوظًا في:

- الذكاء الاصطناعي.
- التحليل الحركي الآلي.
- النمذجة ثلاثية الأبعاد.
- تحليل البيانات الكبيرة.

وتسهم هذه التطورات في تحسين دقة التحليل وتوسيع تطبيقاته.(He et al., 2025)

مستويات التحليل الكمي البيوميكانيكي

1 المستوى الكينماتيكي(Kinematic Analysis)

يُعنى بوصف الحركة **دون النظر إلى أسبابها**، ويعتمد على المتغيرات الهندسية والزمنية.
يشمل تحليل:

- الإزاحة والمسافة
- السرعة (الخطية والزاوية)
- التسارع
- الزوايا والمسارات الحركية

ويُستخدم بكثرة في توصيف الأداء الفني وتقييم جودة الحركة.

2 المستوى الكيناتيكي / الديناميكي(Kinetic Analysis)

يهتم بدراسة **القوى المسببة للحركة** والعوامل الميكانيكية المؤثرة عليها.
يشمل تحليل:

- قوى رد الفعل الأرضي
- القوة العضلية
- العزوم(Moments)
- الدفع(Impulse)

ويُستخدم لفهم متطلبات القوة، الحمل الميكانيكي، وخطر الإصابة.

3 المستوى الطاقي(Energetic Analysis)

يركز على **الطاقة والشغل والقدرة** أثناء الأداء الحركي.
يشمل تحليل:

- الشغل الميكانيكي
- القدرة(Power)
- الطاقة الحركية وطاقة الوضع

ويُستخدم لتقييم الكفاءة الميكانيكية والاقتصاد الحركي.

4 المستوى العصبي-العضلي(Neuromuscular Quantitative Analysis)

يرتبط بقياس **نشاط العضلات كهربائيًا** وربطه بالحركة.
يشمل:

- تحليل) EMG السعة، التوقيت، نمط التنشيط(
- التناسق العضلي
- التسلسل الزمني للتفعيل العضلي

ويُستخدم لفهم التحكم الحركي والتعب العضلي.

5 لمستوى المتكامل(Integrated Biomechanical Analysis)

يجمع بين:

- الكينماتيكا
- الكيناتيكا
- الطاقة
- النشاط العصبي-العضلي

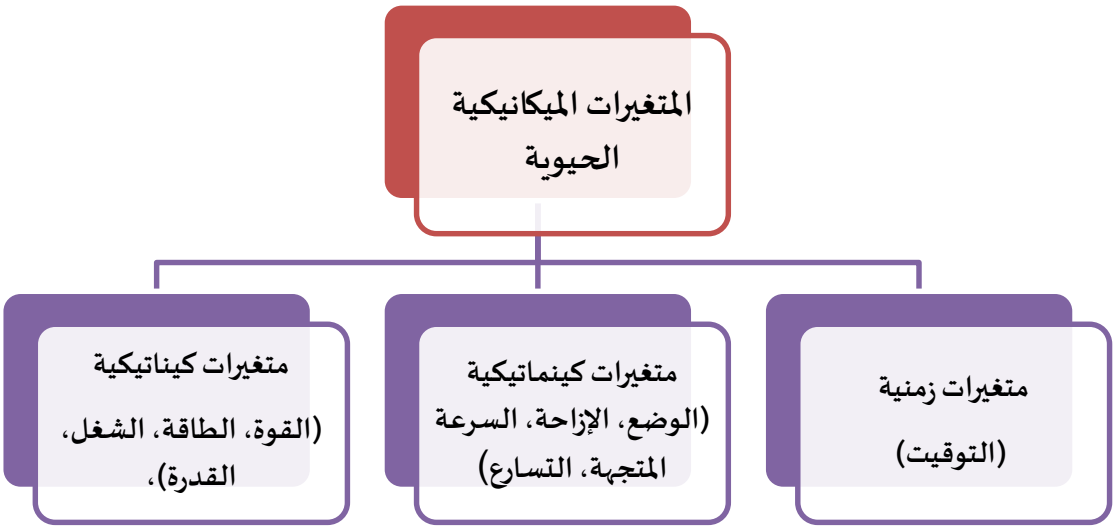
لتقديم **تفسير شامل للأداء الحركي** ودعم القرار التدريبي أو العلاجي.

طرق القياس البيوميكانيكي الكمي

قبل التطرق الى طرق القياس البيويكانيك يجب التعرف أولا على الكميات الاساسيةفي علم الميكانيكا وهي



تتضمن تحليلات الميكانيكا الحيوية الكمية لحركة الإنسان قياس المتغيرات الميكانيكية الحيوية، والتي يمكن أن تكون متغيرات زمنية (التوقيت)، متغيرات كينماتيكية (الوضع، الإزاحة، السرعة المتجهة، التسارع) أو كيناتيكية (القوة، الطاقة، الشغل، القدرة)، حيث يُستعان في قياس أي منها بجهاز محدد.قد يؤثر الجهاز نفسه والمكان الذي يُستخدم فيه على أداء اللاعب، المريض أو العميل.تؤثر عملية القياس على المتغير المراد قياسه، وبالتالي تهدد عملية القياس نفسها صلاحية المتغير المراد قياسه.ويُفضل الوسائل التقنية التي تحد من آثار القياس على اللاعب.



الخطوات العامة للتحليل الكمي البيوميكانيكي

1. البيانات الأساسية لعملية التحليل وهى عبارة عن:
   - كتابة اسم الحركة الرياضية
   - مراحلها او لحظاتها الزمنية
   - نوع الحركة خطية ام زاوية
   - المستويات والمحاور التي تتم فيها الحركة
2. الهدف: وضع هدف لعملية التحليل البيوميكانيكى
3. المتغيرات: تتحدد المتغيرات بناء على نوع التحليل مثل:
   - التحليل الزمنى
   - التحليل الكينماتيكى
   - التحليل الكيناتيكى
4. الأدوات: اختيار طرق وأجهزة البحث اللازمة لإتمام عملية التحليل
5. الدراسة الاستطلاعية: اجراء دراسة استطلاعية لتجنب الاخطاء
6. الدراسة الأساسية: اجراء الدراسة الأساسية وتطبيق التحليل
7. النتائج الاولية: الحصول على نتائج الدراسة الاساسية
8. التحليل الإحصائي: اجراء تحليل إحصائي لبيانات التحليل البيوميكانيكى
9. النتائج النهائية: الوصول لنتائج نهائية
10. التعميمات: صياغة النتائج في شكل بيانات كيفية يمكن ان يستفيد منها المدرب او الباحث

جمع المعلومات في المختبر

يُعد المختبر البيئة الأكثر تحكمًا في القياس، حيث يمكن ضبط الإضاءة، الكاميرات، درجة الحرارة، ومواقع الأجهزة.

مميزاته:

- ثبات الظروف.
- دقة عالية في القياس.
- إمكانية تكرار القياس بنفس الشروط.

عيوبه:

- عدم تمثيل البيئة الواقعية للأداء.
- تأثير الأجهزة والعلامات على الحركة.
- تأثير العامل النفسي لبيئة المختبر.



<u>جمع المعلومات في الميدان</u>

مميزاته:

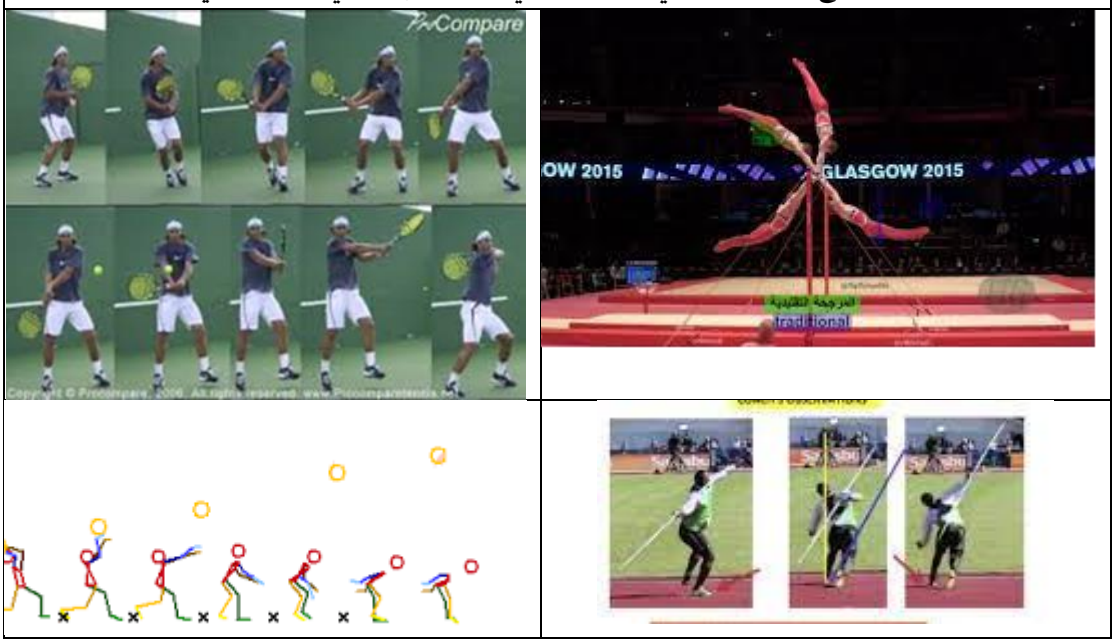
- تسجيل الأداء في ظروفه الواقعية.
- تقليل التشويه الناتج عن البيئة الصناعية.

عيوبه:

- ضعف التحكم في الظروف البيئية.
- صعوبة نقل الأجهزة.
- تأثر القياس بالإضاءة والطقس والجمهور.
- صعوبة تكرار مواضع الأجهزة بدقة.

ورغم هذه العيوب، تُجرى القياسات الميدانية بانتظام في البطولات العالمية والأولمبية.

بعض النماذج للتحليل الحركي البيوميكانيكي لبعض المهارات في الألعاب الرياضة



رصد وتتبع حركة جسم الانسان:

ان الاساس العلمي الذي يقوم عليه فكرة التحليل الحركي البيوميكانيكى هي عملية الرصد والتتبع لحركة جسم الانسان وتبنى على عاملين أساسيين هما:

1. **المسافة.**
2. **الزمن.**

ويعنى التتبع عملية تحديد مكان أو تعقب جسم متحرك لمسافة معينة فى زمن محدد، فحركة جسم الانسان يمكن ان يرصد فيها الجسم ككل او كأجزاء من خلال عملية تتبع للمسافة التي يتحركها الجسم ككل او كأجزاء خلال فترة زمنية محددة.

التحليل الزمني Temporal analysis

التحليل الزمنى [1] هو اول مستويات التحليل الكمى البيوميكانيكي وهو *عبارة عن تقسيم اجزاء المهارة الحركية او المباراة الرياضية او سباقات المسافات الى فترات زمنية بناء على هدف التحليل.*

فمثلا يمكن تقسيم مسافة عدو 100متر الى 10مسافات كل مسافة 10 متر وتحديد الزمن الذى يجريه العداء في كل 10 متر كما في الجدول التالي والذى يقارن بين ازمنة كارل لويسLewis وبيورل Burrell في سباق 100متر عدو في نهائيات بطولة العالم عام 1991.

أجهزة حساب الزمن

يعتبر الزمن بُعد أساسي في علم الميكانيكا ؛ لذا فمن المهم قياس الزمن.وتعتبر الساعات أبسط صور أجهزة قياس الزمن. وإذا كانت الفترة الزمنية المراد حسابها طويلة بما يكفي، قد يكون من الملائم استخدام ساعة الإيقاف كجهاز لحساب الزمن. أما إذا احتجنا مزيدًا من الدقة وإذا كانت الفترة الزمنية المراد حسابها قصيرة، سيكون من الملائم أكثر الاستعانة بجهاز آلي لحساب الزمن. تستعين معظم أجهزة حساب الزمن الآلية بالساعات الإليكترونية في الكمبيوتر وبأي جهاز رقمي آخر. تُشغْل المحولات الإليكترونية أو الميكانيكية الساعات وتوقفها، حيث يمكن تفعيل تلك المحولات بعدد من الوسائل. يمكن استخدام قطع الفرش الحساسة للضغط في تشغيل أو إيقاف الساعة بينما يخطو الشخص عليها ويرفع قدمه عنها.

وإذا كان الضوء هو الباعث فإنها تعمل بمثابة جهاز البوابة الضوئية لحساب الزمن. قد تكون البوابات الضوئية حساسة فيما يتعلق بأطوال موجية محددة أو بالتردد الواسع. وعلى أي حال إذا كان مصدر الضوء يسطع فوق المستشعر وينكسر شعاع الضوء بفعل الشخص أو أحد أطرافه أو بفعل الأداة الرياضية، يحفز عندها التغير في حدة الضوء الساعة لتعمل أو لتقف.

تعمل أجهزة حساب الزمن الآلية بصورة واضحة على قياس الزمن، ولكن يمكن استخدامها كذلك في قياس متوسط السرعة. إذا تم وضع أجهزة الاستشعار المحفزة على مسافة محددة بصورة متفرقة، يمكن عندها حساب السرعة المتجهة المتوسطة من المسافة والقياسات الزمنية.

يمكن أن يوفر إضافة المزيد من أجهزة الاستشعار المزيد من المعلومات المفصلة الموضوعة للحركة.

على سبيل المثال يمكن أن توفر عددًا من أجهزة البوابة الضوئية المصطفة على امتداد المضمار أو مسار الجري المزيد من المعلومات حول معدل الخطوة، وطول الخطوة، وزمن الاستناد، وزمن الطيران، والسرعة المتجهة عبر عدد من الخطوات

مجالات استخدام التحليل الزمنى في المجال الرياضي:

1. تحليل ازمنة سباقات العدو والجري
2. تحليل زمن مراحل الأداء في الحركات الوحيدة والمتكررة والجمل الحركية
3. تحليل زمن المباريات وربط الزمن بفاعلية الاداء

أهداف التحليل الزمنى في المجال الرياضي:

[1] يعتبر **الزمن** احد المتغيرات البيوميكانيكية الأساسية لأنه يقاس مباشرة ,**الزمن** بعد فيزيائي رابع للمكان حسب النظرية النسبية لأينشتاين، لكنه لا يعدو كونه وسيلة لتحديد ترتيب الأحداث بالنسبة لمعظم الناس, تعريف **أرسطو** للزمن *"الزمن هو حساب الحركة"*

1. تحليل استراتيجيات الجري في سباقات العدو والجري
2. المقارنة بين زمن الأداء اللاعبين في مسابقات مختلفة
3. معرفة العلاقة بين ازمنة مراحل الحركات الوحيدة او المتكررة او الجمل الحركية
4. اكتشاف اخطاء الأداء
5. تقسيم المباريات الى ازمنة وربط هذه الأزمنة بفاعلية الأداء والتي تتمثل في احراز الأهداف او احتساب النقاط او انجاز واجب حركي.

<u>اجراءات التحليل الزمنى:</u>

للوصول الى النتيجة المرجوة من التحليل ينبغي تحديد:

1. الهدف من التحليل الزمنى
2. بداية ونهاية الفترة الزمنية للأداء الحركي
3. الطول الزمنى للأداء الحركي
4. التركيب الزمنى للأداء الحركي

يعبر الزمن عن ترتيب حدوث الحركة ولكل حركة خصائصها الزمنية التي تميزها عن غيرها، ولذلك يمكن ان نحصل على الخصائص الزمنية لحركة جسم الانسان بشرح الإجراءات التالية.

<u>الهدف من التحليل الزمنى:</u>

قبل ان نقوم بعملية التحليل لابد وان نحدد الهدف من التحليل لضمان الوصول للنتائج الصحيحة والدقيقة.

فالهدف من التحليل الزمنى يمكن ان يكون:

- تجزئة الحركة الى أجزاء زمنية
- تبسيط المهارة الى مراحل
- مقارنة بين زمن اللاعب في أكثر من موقف او مقارنته بلاعب اخر
- علاقة زمن الأداء بفاعلية الحركة
- ناتج أداء اختبار معين او مسابقة هدفها تحقيق زمن.

<u>بداية ونهاية الفترة الزمنية:</u>

نقوم بتحديد بداية ونهاية الفترة الزمنية بناء على هدف التحليل ,فاذا اردنا تحليل مهارة حركية وحيدة مثل الوثب الطويل فإننا نقسم المهارة الى مراحلها الثلاثة وهى التمهيدية –الرئيسية –الختامية وهذا بناء على ما تم دراسته في مقرر علم الحركة بعد ان نكون حددنا المراحل نستطيع تحديد زمن كل مرحلة ،ويمكن ان قسم المرحلة الواحدة الى أجزاء زمنية كما في الارتقاء عندما نقسمه الى مرحلة دفع الإيقاف وتتم في عكس اتجاه الحركة ومرحلة دفع العجلة وهى في اتجاه الحركة.

<u>الطول الزمني للأداء الحركي:</u>

هي الفترة الزمنية المحسوبة بين بداية ونهاية الحركة ويحتاج ذلك الى دراية كاملة لشكل الجسم اثناء الأداء الحركي حتى يتمكن القائم بالتحليل بالتحديد الدقيق لبداية الزمن بناء على شكل الجسم، ويظهر ذلك في الحركات المتكررة ثنائية المراحل مثل الجري حين نجد صعوبة في تحديد بداية ونهاية الحركة في المرحلة المندمجة وهى الفصل بين الهبوط وارتكاز والدفع او عندما نريد التفرقة بين زمن خطوة الجري المنفردة والمزدوجة.

والمشكلة الأخرى في الطول الزمنى هي تناسب سرعة الحركة مع الأداة المستخدمة في التحليل الزمنى، ويعنى ذلك اننا عندما نريد تحليل زمن الارتقاء فإننا نحتاج الى كاميرا تصوير ذات سرعة تردد عالية وذلك لقدرتها المتميزة في التقاط أكبر قدر ممكن من الصور في اثناء الارتقاء، ونحتاج كاميرا ذات سرعة اعلى لتحليل زمن طيران الكرة في الهواء.

التحليل الكينماتيكى kinematic analysis

التحليل الكينماتيكى : هو ثاني مستويات التحليل الكمى البيوميكانيكي وهو عبارة عن وصف ظاهري لحركة جسم الانسان الخطية او الزاوية في الفراغ وفي أكثر من بعد. تناولنا كيفية رصد وتتبع حركة جسم الانسان في الفراغ عن طريق تحديد المسافة والزمن التي يتحرك فيهما الجسم فمثلا عندما نريد وصف حركة المشي فإننا لابد أن نحدد بداية ونهاية المسافة التي يتحركها الشخص وكذلك بداية الزمن ونهايتها تمهيدا وتكملة للوصف فاذا كان هدف التحليل معرفة سرعة المشي قسمنا المسافة التي تحركها الجسم ولتكن ٢٠ متر في زمن وليكن 10 ثواني حتى نقول أن هذا الشخص يمشي بسرعة ٢ متر في الثانية ، واذا اردنا معرفة معدل تغير السرعة بالنسبة للزمن قسمنا السرعة على الزمن فتكون 0.2 متر على الثانية.

أما إذا أردنا وصف زوايا الجسم اثناء المشي فإننا نحدد زوايا مفاصل الجسم المؤثرة في المشي كمفصل الركبة ونقيس الفرق بين اقصى واقل زاوية للركبة اثناء الارتكاز على الأرض ونقسم هذا الفرق الزاوي على الزمن فتكون السرعة هنا سرعة زاوية وإذا أردنا معرفة معدل التغير الزاوي لمفصل الركبة فإننا نقسم السرعة الزاوية على الزمن لتعطينا العجلة الزاوية.

وعندما نريد وصف حركة المشي بشكل أكثر تفصيلا نجد هنا شيء من الصعوبة في التحليل حيث ان العين يصعب علها ملاحظة كل تفاصيل المشي، فكلنا نمشي ولكن توجد اختلافات ظاهرية بيننا في المشي وتؤثر علنا عوامل مثل الطول والسن ونوعية الأرض والحذاء ...الخ، وايضا فمنا من يمشي في خط مستقيم ومنا من يمشي في خط معوج، أن بعض هذه التفاصيل تجذبنا لمعرفة المشية السليمة وذلك يكون من خلال التحليل الكينماتيكى للمشي كما في رسم توضيحي

في الرسم التوضيحي السابق صورة من تقرير خاص بالتحليل الكينماتيكى للمشي على السير المتحرك ويوضح انحرافات زوايا الجذع والرجلين عن الزوايا النموذجية طبقا للنموذج المسجل على برنامج التحليل الحركي.

يتضح من الرسم التوضيحي الخاص بالتحليل الكينماتيكى للمشي انه عند تحليل المشي يلزم تحديد علامات ارشادية على مفاصل الجسم لتعبر عن زاوية كل مفصل اثناء الحركة وبالتالي تعبر عن السرعة والعجلة الزاوية للمفاصل، كما أن عملية التحليل قائمة على استخدام كاميرا فيديو متعامدة.

متغيرات التحليل الكينماتيكي kinematical analysis Variable : المتغير Variable بالمعنى البحثي والإحصائي هو الخاصية أو الصفة عند مجموعة أو عينة الأفراد أو الظاهرة الخاضعة للبحث. و المعنى اللغوي لكلمة متغير هى- مبدل، تحول، متغير، متغير، متغيرة ، متقلب ، وتعنى رمز رياضي له قيمة متغيرة.

وفي الفيزياء والهندسة، يكون معنى المتغير متحول، حيث أن المتحول هو كمية تكون قيمتها متغيرة على طول التجربة، على اختلاف العينات ، أو أثناء تشغيل النظام.

المتغيرات الكينماتيكية هي مجموعة من خصائص الأداء الحركي والتي يمكن التعبير عنها بالسرعة والعجلة، مثال على ذلك أن الرمي يتأثر بسرعة النقل الحركي من أجزاء الجسم الى الذراع الرمي ويؤثر في ذلك متغيرات كثيرة منها سرعة القدم والركبة والجذع ...الخ

اما المؤشرات الكينماتيكية indicators فهي المتغيرات الأكثر تأثيرا في الأداء الحركي والتي تم التعرف علها بواسطة الدلالات الإحصائية في الأبحاث العلمية فمثلا في مسابقات الرمى يعتبر اهم مؤشر فيها هو زاوية الرمى.

وينتهي دور التحليل حتى يصل الى وضع نقاط فنية للأداء الحركي يستطيع المدرب التركيز علها اثناء التعلم او التدريب.

مركز الثقل

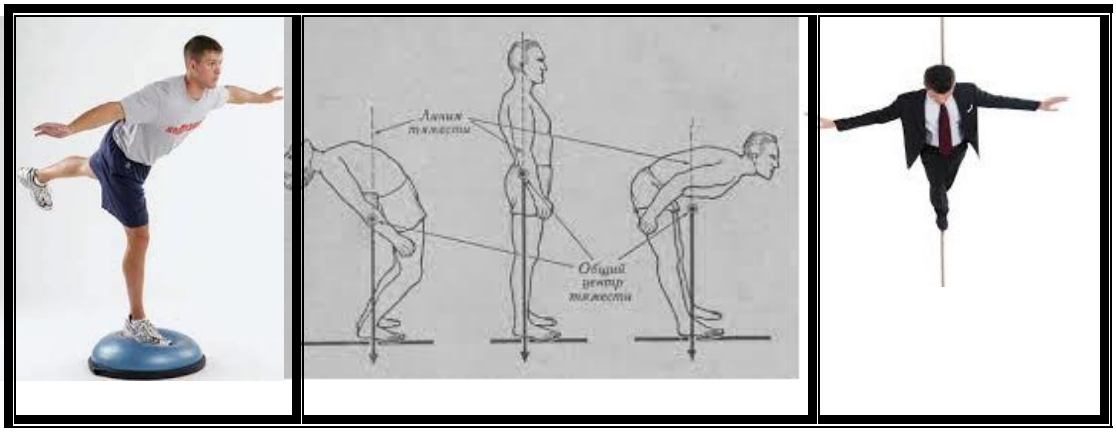
مركز ثقل الأجسام:

تختلف الأجسام عن بعضها البعض، سواء من ناحية الشكل أو من ناحية التجانس والانتظام، وبالتالي فان تحديد مركز ثقل جسم ما يتعلق بهذا الاختلاف.من الممكن أن يقع مركز ثقلك خارج جسمك. كيف يكون هذا ممكنا؟

عندما نحدد مركز الثقل، فإننا نفعل ذلك من الإشارة إلى موضع ثابت وثابت. لكن الجسم في حالة حركة مستمرة، مما يعني أننا نغير المواقف كثيرًا. مع كل موقع جديد يأتي موقع جديد لمركز الثقل. تذكر أن مركز الثقل، كما يطلق علىه أحيانًا اختصار، هو النقطة التي تتوازن حولها جميع الأجزاء؛ قد يكون هذا داخل جسمك أو خارجه. حتى التغييرات الطفيفة في الموضع يمكن أن تغير مكان مركز الجاذبية. ويسمى مركز الجاذبية أيضًا بمركز الكتلة. المصطلحان قابلان للتبادل

تعريف مركز الثقل

فمركز ثقل الجسم هو النقطة التي يتوزع حولها ثقل هذا الجسم بالتساوي، بحيث إذا علق منها أو ارتكز علها يحافظ على توازنه.



كما يعرف مركز ثقل الجسم بأنه النقطة التي تكون عندها محصلة كل القوى و العزوم المؤثرة على الجسم تساوي الصفر، وهي اتزان الجسم ،هذا ويعتبر مركز الثقل أحد أهم المفاهيم الميكانيكية التي تلعب دورا دورا أساسيا عند حمل الأثقال برافعة أو إلقاء ثقل بمظلة من طائرة. وفي الفيزياء تحتاج بعض المسائل معرفة مركز ثقل نظام لحلها.

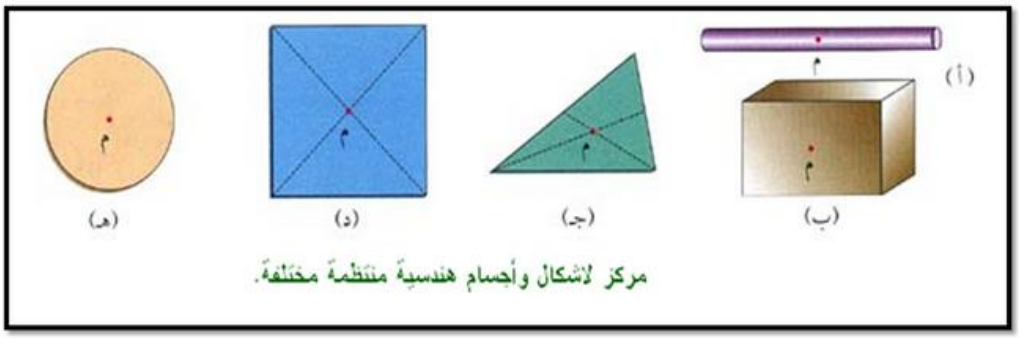
فمركز ثقل الجسم هو تلك النقطة الثابتة التي يمر بها خط عمل محصلة قوى الجاذبية الأرضية لهذا الجسم عند أي وضع له في الفراغ. مركز الثقل هو النقطة التي يتوازن عندها الجسم بالنسبة للمحاور الثلاثة.

مركز ثقل الأجسام المنتظمة:

الأجسام المنتظمة والمتجانسة هي تلك الأجسام المسطحة المعروفة الشكل الهندسي، كالمربعات والمستطيلات و المثلثات و الدوائر ... وتعتبر هذه الأجسام سهلة من حيث تحديد مركز ثقلها، فهو غالبا ما يقع في تقاطع محاورها . فمركز ثقل جسم كروي منتظم هو النقطة التي يقع فيها مركز هذا الجسم، كما أن مركز ثقل قضيب منتظم - اسطوانة - هو النقطة التي تقع في مركز الجزء المقطعي العرضي من القضيب الذي يقع في منتصف القضيب طوليا .

-أما إذا كان الجسم غير منتظم الشكل الهندسي وذو بعدين فقط، فان تحديد مركز ثقله يكون بتعلقه من أي نقطة منه، ثم رسم محور عمودي إلى الأرض عندما يثبت الجسم، ثم تعلقه مرة ثانية ورسم محور عمودي على الأرض ونقطة تلاقي المحورين أو تقاطعهما تكون هي مركز ثقله

تحديد مركز ثقل الأجسام المنتظمة



مركز لأشكال وأجسام هندسية منتظمة مختلفة.

- إذا كان الجسم منتظم المقطع والكثافة يكون مركز الكتلة في مركزه الهندسي
- مركز ثقل بعض الأجسام يكون في الفراغ كالحلقة الدائرية ...

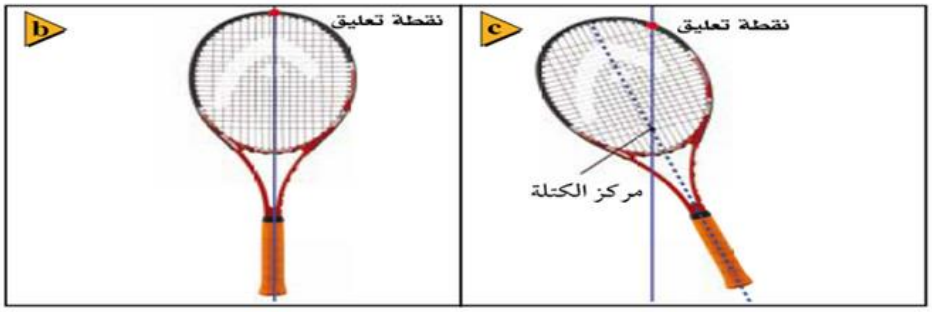
مركز ثقل الأجسام غير المنتظمة:

نقصد بالأجسام غير المنتظمة، هي الأجسام التي لا تتوزع فيها كتلة الجسم بالتساوي على جميع نقاط الجسم، ومن الأجسام غير المنتظمة جسم الإنسان. وقد لاقى تحديد مركز ثقل جسم الإنسان اهتمام العديد من العلماء في مختلف المجالات، كعلماء التشريح علماء علم الحركة وعلماء الفضاء وأخصائي العلاج الطبيعي. وتتضح أهمية تحديد مركز الثقل في معرفة حالة اتزان الجسم في أي لحظة من للحظات، وتحت أي وضعية. وفي المجال

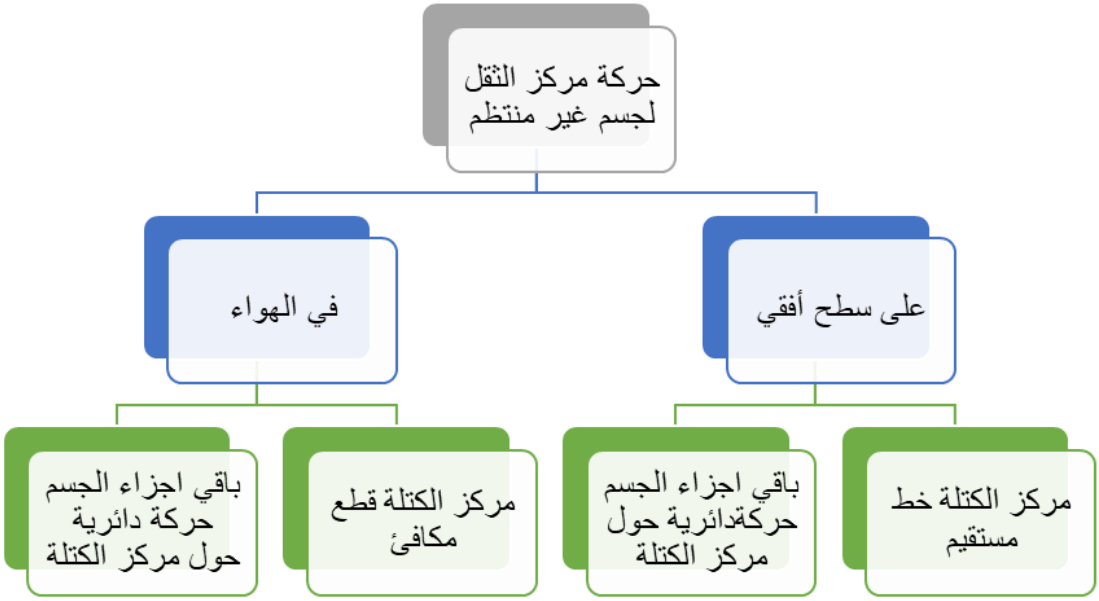
الرياضي، يعتبر مركز ثقل الجسم من الأمور الهامة والنقاط الحساسة التي يجب التركيز عليها من طرف المدربين و مدرسي الحركات الرياضية، لما تلعبه في توازن جسم الرياضي وبالتالي في الأداء بصفة عامة.

ولتعيين مركز ثقل الجسم الغير منتظم عمليا نقوم بتعلق الجسم تعلقاً حراً من عدة نقاط باستخدام خيط يتدلى من أسفله ثقل، وفي كل مرة نرسم الخط الرأسي المار بنقطة التعلق. وتكون نقطة تلاقي هذه الخطوط هي مركز ثقل الجسم، و لا يشترط أن يقع مركز ثقل الجسم داخل مادة الجسم بالضرورة، فقد يقع عند نقطة خارجة عنها، فمركز ثقل حلقة معدنية يقع عند مركزها حيث لا يوجد شيء من مادة الحلقة، وكذلك علبة فارغة أو كوب فارغ.

تحديد مركز ثقل الأجسام الغير منتظمة



❖ اذا كان الجسم غير منتظم المقطع والكثافة يكون مركز الكتلة في نقطة تقاطع الخطوط الرأسية عند تعليقه.



مركز الجاذبية البشري

كما أشرنا سابقًا، فإن مركز الجاذبية هو النقطة التي تكون عندها كتلة الجسم متوازنة بشكل متساوٍ، وتتغير هذه النقطة اعتمادًا على موضع الشخص الذراعين لأعلى / لأسفل، مائل، الشقلبات في الجمباز، وما إلى ذلك . مشاهدة الراقصين، ولاعبي الجمباز، والمشاة بحبال ضيقة تقدم أمثلة على كيف يمكن لجسم الإنسان، من خلال تدريب القوة والمرونة، أن يغير مركز الثقل من أكثر الموضوعات إثارة للاهتمام، وكذلك كيف يمكن للإنسان أن يتغلب بوعي على آثار الجاذبية والجمود في الجسم .

عند الوقوف، يقع مركز الثقل عادةً أمام عظم العجز، عند المستوى العجزي الثاني تقريبًا ,يتكون العجز من خمس عظام تلتحم معًا رأسيا.

لفهم الفرق بين النظرية والتطبيق العملي، دعنا نقارن جسم الإنسان بالبيسبول لمدة دقيقة .من نقطة في المركز الدقيق، يتم توزيع كتلة لعبة البيسبول بالتساوي على طول الملعب، أليس كذلك؟ لذلك، مع أي حركة للكرة ، تتحرك نقطة الوسط هذه جنبًا إلى جنب معها .سهل.

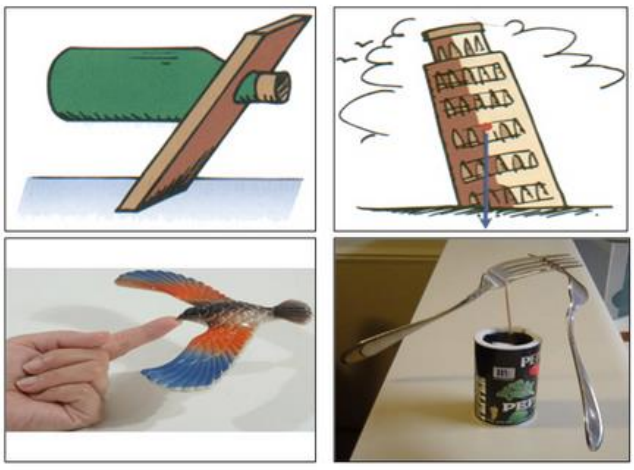
لكن عندما ننظر إلى مركز الثقل في جسم الإنسان، تصبح الأمور أكثر تعقيدًا .كما تمت مناقشته، نظرًا لأن الجسم به أجزاء متحركة (الذراعين والساقين والرأس ومناطق مختلفة من الجذع)، في كل مرة تقوم فيها ، ، يتغير شكل الشكل العام .وإذا كنت تحمل شيئًا مثل حقيبة سفر أو حقيبة بقالة أو إذا كنت ترتدي حقيبة ظهر ، فهذا يضيف وزناً إلى بعض المناطق دون غيرها ، مما يغير مركز الثقل.

لذلك، يمكننا القول إن مركز الجاذبية هو نقطة متغيرة باستمرار داخل أو خارج الجسم تمثل موازنة الوزن أو الكتلة لبقية جسمك بالتساوي في كل اتجاه .يمكن لهذه النقطة أن تتغير بناءً على ما تحمله وكيف تحمله، بالإضافة إلى الموقف الذي تتخذه والحركات التي تقوم بها

علاقة الاتزان بمركز الثقل

الاتزان هي الدائرة التي يقف علها جسم ما، فجسم الإنسان الواقف على قدميه قاعدة اتزانه هي الدائرة التي تحيط بالقدمين وتلامسهما، وكذا الحال بالنسبة للأجسام الأخرى كالبنايات والأبراج الشاهقة، فقاعدة اتزانها هي الدائرة التي ترتكز علها .

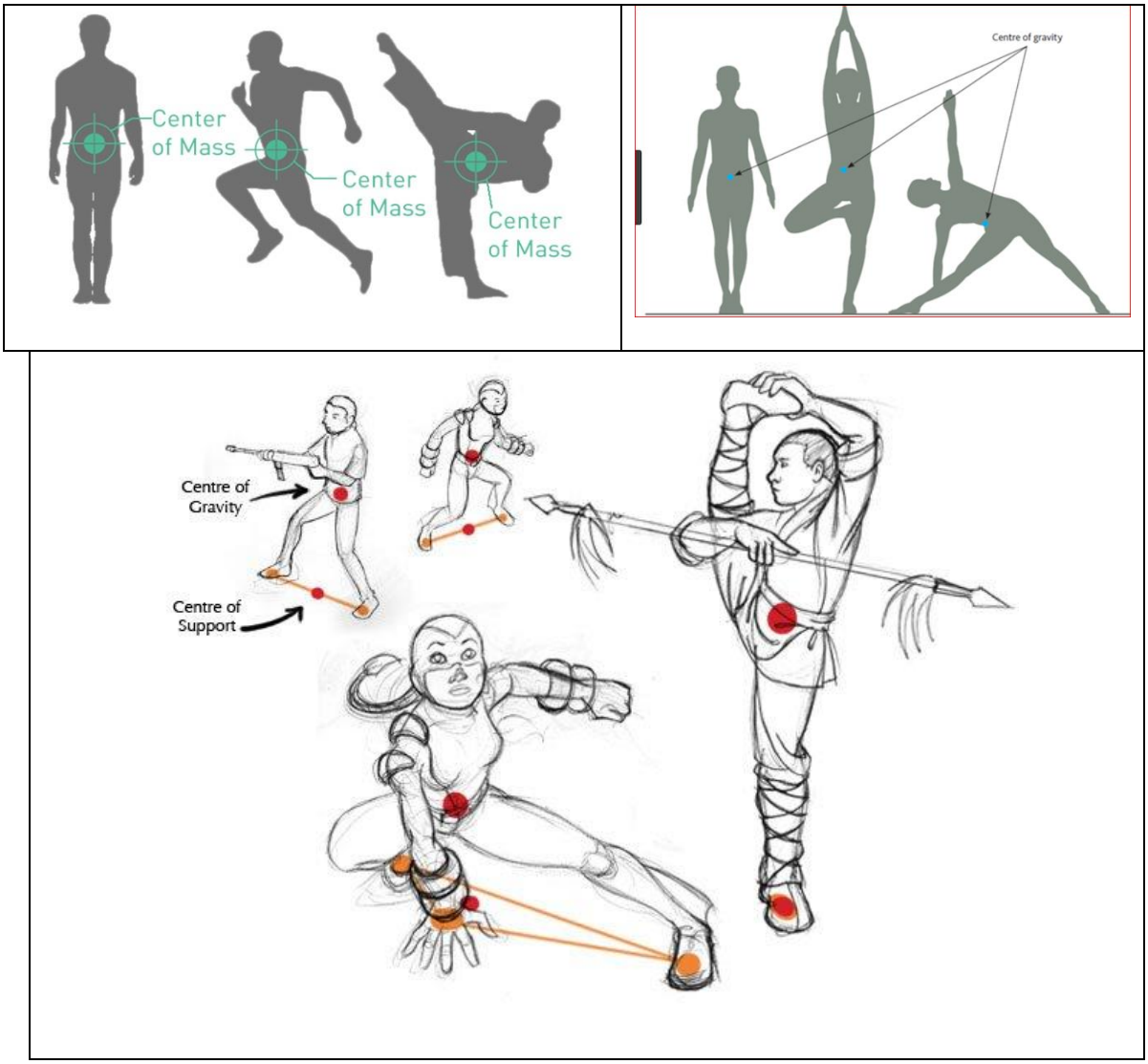
فسرعدم سقوط الاجسام التالية

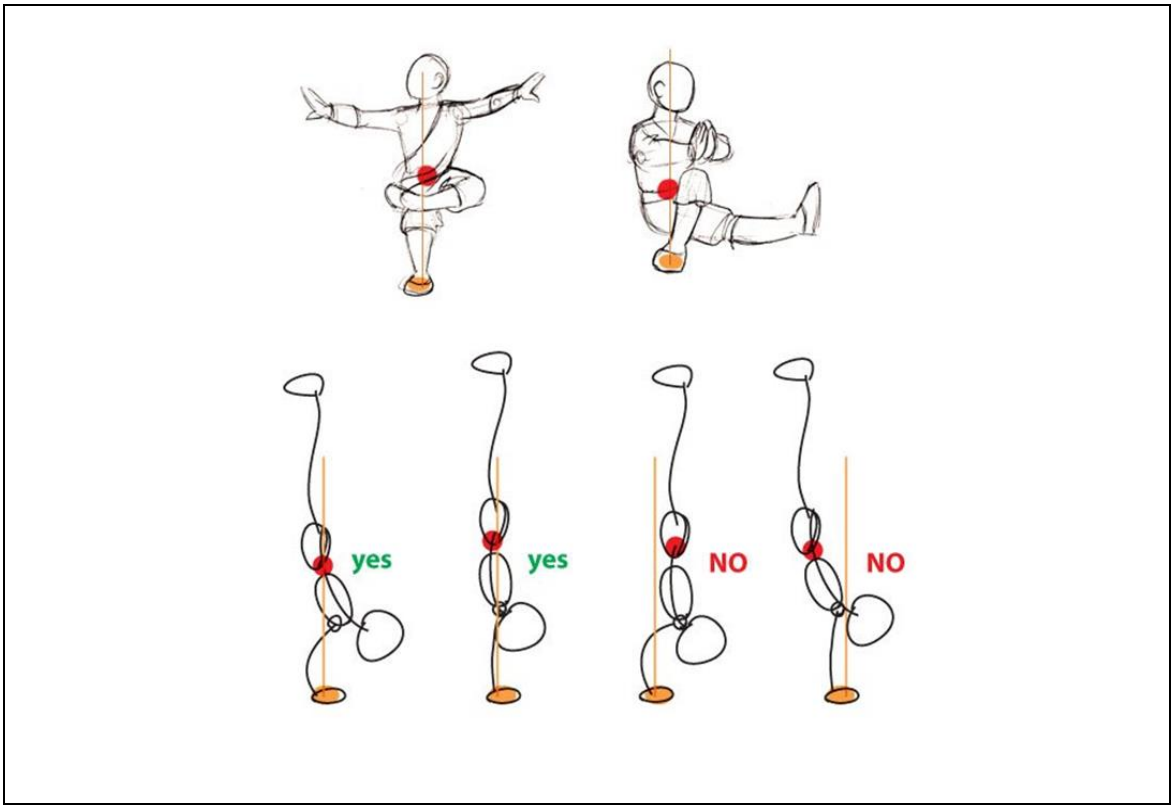


اذا كان مركز الكتلة فوق قاعدة الجسم يكون الجسم مستقر.

وكلما كان مركز ثقل هذه الأجسام داخل هذه الدائرة فإنها تحافظ على اتزانها أما إذا انحرف مركز الثقل أو خرج عن هذه الدائرة فإنها تفقد توازنها أو تسقط إلى الأرض.
النقطة التي تقع عندها كتلة جسم ما في موضع معين بغرض فهم حركة هذا الكائن، فمركز ثقل جسم كروي منتظم هو النقطة التي يقع فيها مركز هذا الجسم.

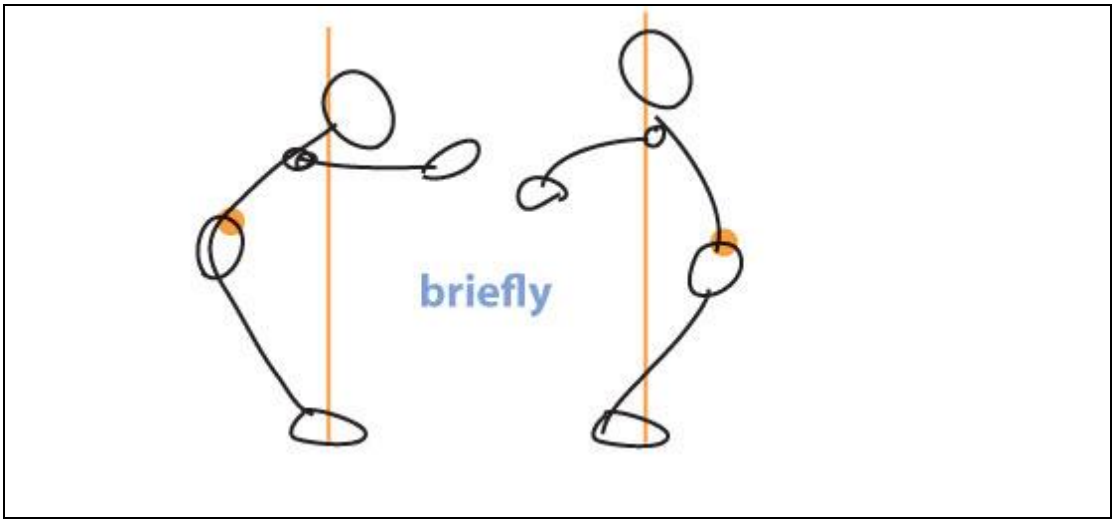
لذلك نجد في كثير من الألعاب الرياضية يعتمد نجاح اللاعب في المقام الأول المحافظة على الاتزان من خلال توزيع مركز الثقل على قاعدة الارتكازبما يضمن الأداء الجيد وتحقيق الهدف من المهارة وكذلك تجنب حدوث الإصابات الرياضية



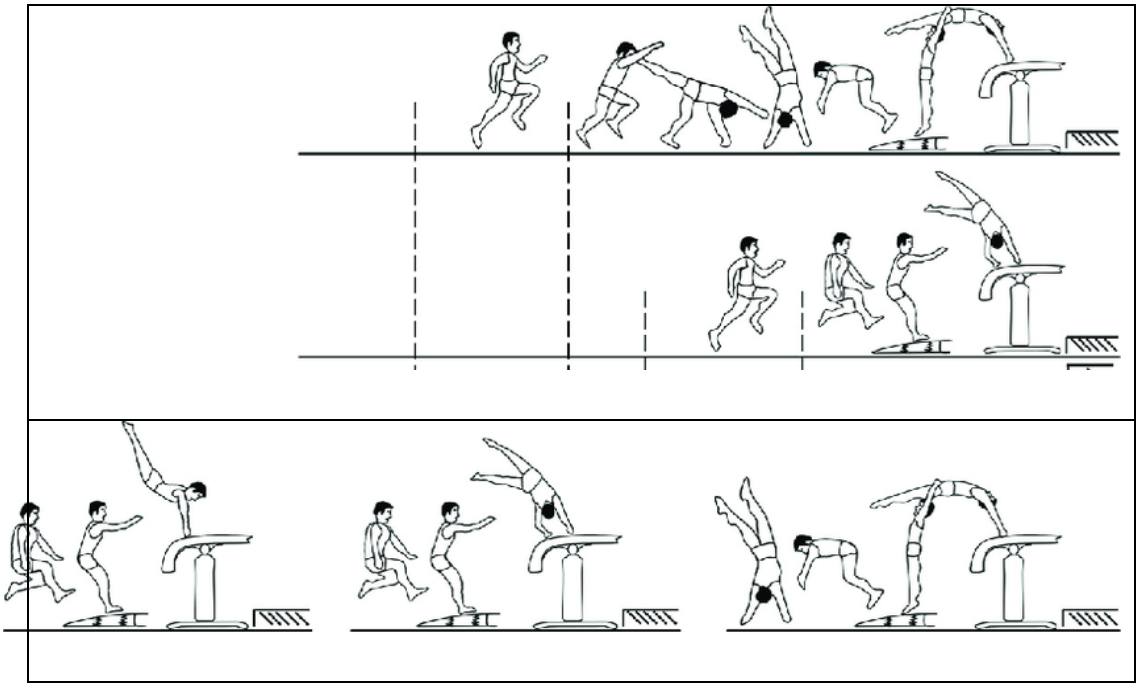


الاتزان المضاد

فيما يلي بعض الأمثلة على الاتزان المضاد. لاحظ أنه لكل ميل يوجد ميل معاكس بزوايا متفاوتة ، حسب مكان حمل الأشياء الثقيلة.



ماذا يحدث لمركز الثقل اثناء الأداء المهاري في الألعاب الرياضية

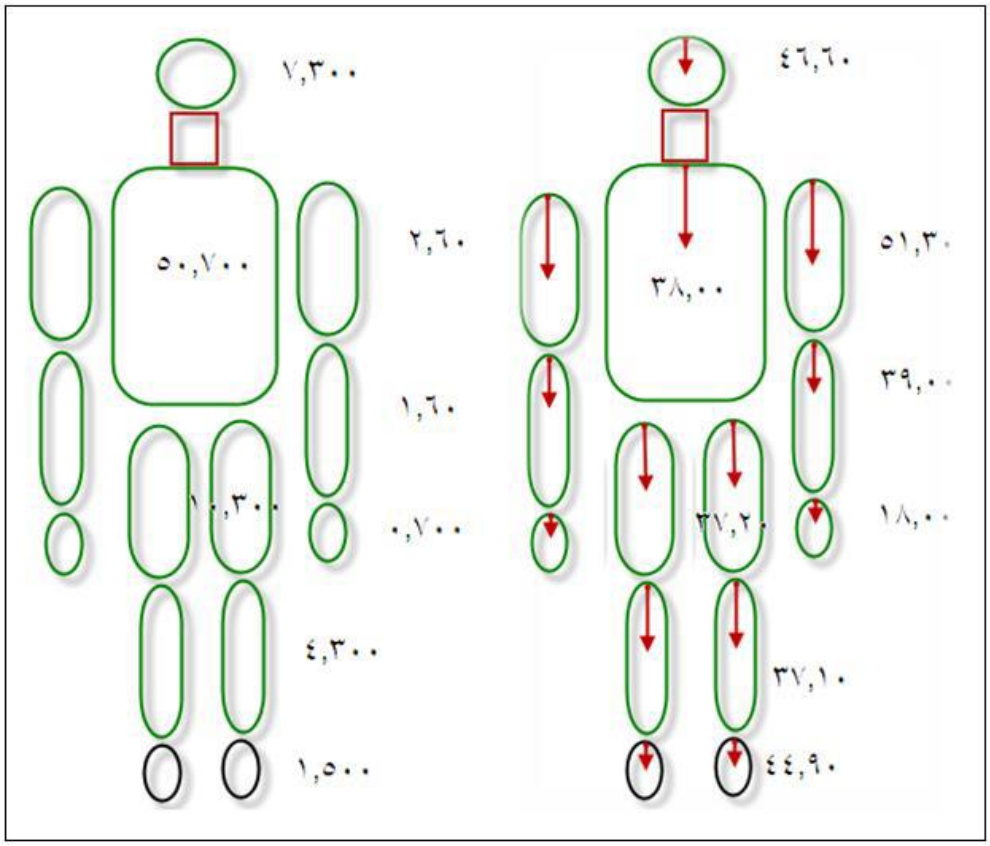


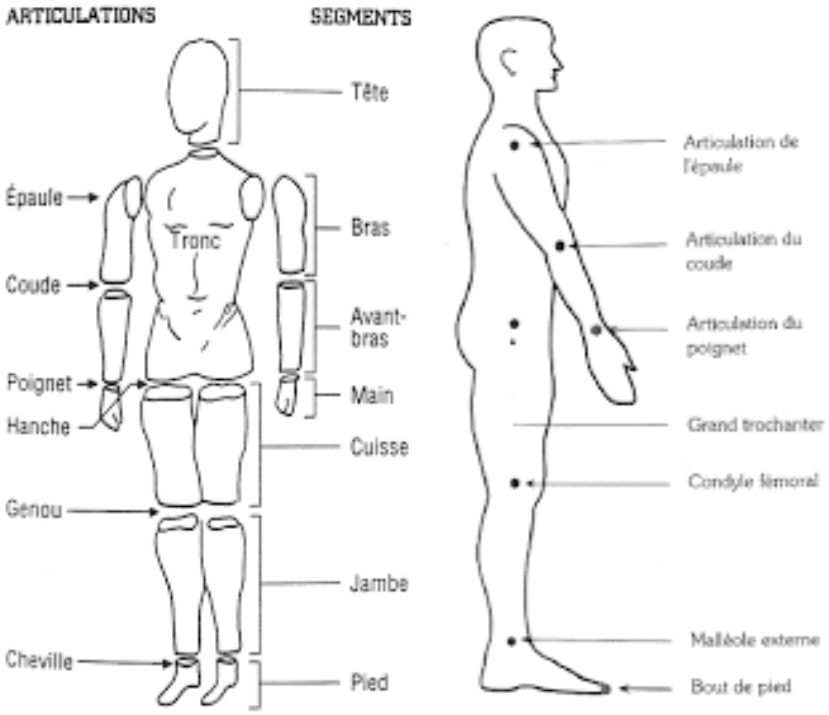
طرق تحديد مركز ثقل الجسم:

اهتمت العديد من الدراسات العلمية في طرق إيجاد وتحليل مركز ثقل جسم الإنسان، ومن بين هذه الدراسات: دراسة " براون فيشر " حيث حدد مركز ثقل الجسم بـ 55...% من طول الشخص مقاسا من أسفل القدم، مع اختلاف هذه النسبة بين الرجال والنساء، حيث أن ارتفاع مركز ثقل الجسم عند الرجال أعلى منه عند النساء. كما أشار " chrowskiإلى أن متوسط ارتفاع مركز الثقل عند الرجال بلغ 1.65% ، بينما بلغ .%. 5.. المتوسط عند النساء. أما العالم " بالمر " والذي أجرى تجاربه على عينة تكونت من 91 ذكور و 71 إناث ولمدة طويلة استمرت حتى بلوغهم العشرين سنة، فوجد بشكل عام إن ارتفاع مركز الثقل للجسم بصرف النظر عن العمر و الجنس يساوي 6.5: - ...7 سم من الطول + مقاسا من أسفل القدم.

وما يجب التأكيد علىه هنا ، أنه في مجال التربية البدنية والرياضية وخاصة ميدان التحليل الحركي يتفق معظم الباحثين على استخدام نموذج موحد للتحديد مركز الثقل خلال تحليلنا للحركات الرياضية، حتى يسهل علىنا دراسة وتحليل مختلف الأوضاع التغيرات المصاحبة لها خلال دلك والذي يتمثل في نموذج " Winter "،والدي يرتكز على نتائج العديد من الأبحاث والتي وضعت على شكل نسب ومعدلات لمختلف أعضاء الجسم والتي تمكننا من حساب وتحديد مختلف القياسات اللازمة لحساب وتحديد مركز الثقل.

نموذج " Winter "أهم النقط التشريحية والمقاييس الجسمية المعتمدة في حساب و تحديد موضع مركز الثقل.





نموذج " Winter" أهم النقط التشريحية والمقاييس الجسمية المعتمدة في حساب و تحديد موضع مركز الثقل.

لكي يتمكن الفرد من تحديد التغير في مكان كتلة جسم الإنسان بالنسبة للمكان والزمان بطريقة دقيقة يتحتم عليه معرفة موضع مركز ثقل كتلة الجسم بالنسبة للأوضاع المختلفة التي يتخذها جسم الإنسان بالإضافة إلي

ضرورة معرفة عزم القصور الذاتي للكتلة بالنسبة لمختلف الأوضاع التي يتخذها الجسم في حالة الحركة الدورانية.

لذا فقد شغلت الرغبة في التوصل إلي معرفة موضع مركز ثقل كتلة جسم الإنسان الباحثين منذ زمن بعيد حيث قام الكثيرون منهم "بوريللي Borilli، موسو Mosso، ماير Mayer، ويبر Weber، ديمني Demeny، ريشير Recher، هاي كرافت وشين

Hay Craft and Sheen، هارلس Harles، ريشي Riesche، شايدت Scheidt، برون وفيشر Braune and Fishe، كنول knoll، ايجرز Eggers، ديبوز رايموند

Du – bois Reymond، بازلر Basler بإجراء وتطوير طرق البحث المختلفة لمعرفة ذلك، ويمكن تقسيم هذه الطرق إلي ما يلي:

1- الطريقة المباشرة (باستخدام الجسم كوحدة واحدة).
2- الطريقة غير المباشرة (باستخدام الجسم كاجزاء).

الطريقة المباشرة:

كان "بوريللي" أول من توصل إلي تحديد موضع ثقل الكتلة لجسم الإنسان، وللتوصل لذلك وضع شخصا في وضع الرقود على لوحة من الخشب مركزا على رأس منشور وقام بتحريك اللوح حتى حدث وضع اتزان للجسم وبذلك يكون قد أوجد خط تأثير مركز ثقل كتلة الجسم، غير أن الأمر هنا لا يتعلق بتحديد مركز ثقل كتلة جسم الشخص وحدة بل بتحديد الثقل المشترك لكل من جسم الشخص والقاعدة المرتكز علها هذا الجسم أيضا، حيث أنه عن طريق تحريك اللوح الخشبي فوق الدعامة المرتكز علها يكون هناك مركز ثقل جسم الشخص على أحد طرفي اللوح الخشبي بينما يكون مركز ثقل اللوح موجودا عند الطرف الآخر للحافة.

وخلال القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين قام فريق من الباحثين بتطوير طريقة بوريللي حيث أجرى الأخوان فيشر تجربتهما على نفس الأسس المماثلة لطريقة بوريللي مع محاولتهما تجنب الخطأ الذي وقع فيه بوريللي، وذلك بوضع الشخص فوق قاعدة قاما سلفا بتثبيتها في وضع الاتزان مع تحريك الجسم الذي أجريا علىه تجربتهما هنا وهناك، ويتضح صعوبة هذه الطريقة إذا ما تخيلنا إيجاد مركز ثقل كتلة جسم اللاعب في أوضاع متعددة وصعبة خلال أدائه مهارة مثل الدورتين الهوائيتين المتكورتين على الأرض.

لذا فقد توصل "ديبوز ريموند" إلي جهاز أطلق علىه اسم ميزان مركز الثقل يتكون من قاعدة مثبتة وضعت فوق حافتين ثبت أحدهما فوق ميزان من الموازين المستخدمة في وزن الأشخاص وبقدر بعد المسافة بين خط الثقل ونقطة الارتكاز للميزان، يستخرج مقدارا معينا لوزن الجسم، ووفقا لقانون الروافع، فإنه يمكن حساب تلك المسافة، ولقد أدت هذه الطريقة إلي تبسيط خطوات التجارب بشكل ملحوظ برغم من أنها لا تصلح إلا لتحديد خط الثقل فقط، أما بالنسبة لتحديد مركز ثقل جسم ما فإنه من الضروري إيجاد ثلاثة خطوط للثقل بحيث لا يجوز أن يقع أكثر من اثنين منهما على مستوى واحد، ونظرا لتمتع الأجسام بخاصية التماثل فإنه من الممكن في معظم الأحيان الاستغناء عن خط الثقل الثالث، وقد قام "بازلر" بإضافة تطويرات جديدة على ميزان مركز الثقل الخاص بريموند مستخدما في تجاربه الكثيرة منصة مثلثة الشكل متساوية الزوايا بحيث يتركز عند إحدى الزوايا على جسم ثابت بينما يتركز في زاويتيه الأخيرتين فوق ميزان لوزن الأشخاص وباستخدام هذا الجهاز يمكن إيجاد خطين للثقل تمثل نقطة تقاطعهما مركز ثقل الجسم.

الطريقة غير المباشرة:

تعتمد الطرق المستخدمة للحصول على المدلولات التي يمكن عن طريقها تحديد موضع مركز ثقل كتلة جسم الإنسان على مبدأ معرفة موضع مركز ثقل كتلة كل جزء من اجزاء جسم الإنسان كل على حدة وقد استخدم في سبيل ذلك دراسات مختلفة منها:

1- دراسة الجثث.
2- دراسة عمر الأجسام.
3- دراسات رد فعل اللوح.
4- دراسات النماذج الرياضية.
5- الدراسات المتنوعة.

وفيما يلي نذكر أكثر الطرق العلمية التجريبية والتحليلية انتشارا واستخداما في تحديد موضع مركز ثقل كتلة جسم الإنسان.

جدول الوزن النسبي لأجزاء جسم الإنسان بالنسبة لوزن الجسم(عن فيشر وبيرنشتاين)

اجزاء الجسم	الوزن النسبي وفق رأي فيشر	الوزن النسبي وفق رأي بيرنشتين رجال وسيدات		النسبة التقريبية
الرأس	0.0706	0.0672	0.0812	0.07
الجذع	0.427	0.463	0.4390	0.43
الفخذ	0.1158	0.2121	0.1289	0.12
الساق	0.0527	0.0465	0.0434	0.05
القدم	0.0179	0.0146	0.0129	0.02
العضد	0.0336	0.0265	0.0260	0.03
الساعد	0.0228	0.0182	0.0182	0.02
اليد	0.0084	0.0070	0.005	0.01

وقد تمكن "كلاوسير Clauser" من تحديد نسبة أوزان اجزاء الجسم بالنسبة لوزن الجسم الكلي وفق الجدول التالي:

جدول الوزن النسبي لأجزاء الجسم المختلفة بالنسبة لوزن الجسم كله عند كلاوسير

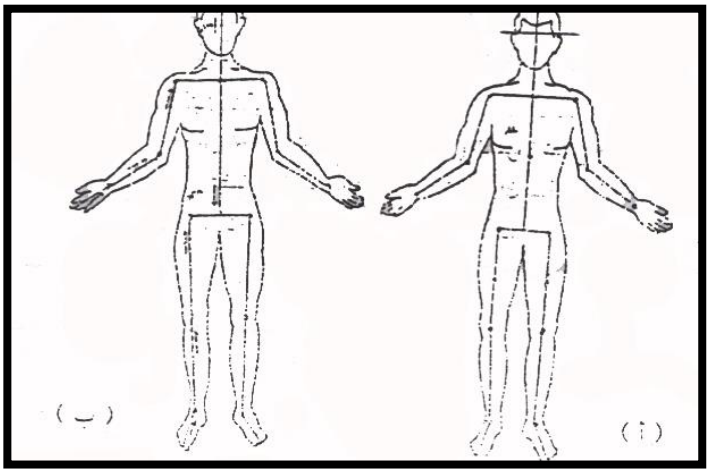
اجـــزاء الجسم	لرأس	الجـذع	العضد	الساعد	اليد	الفخذ	الساق	القدم
الـــــوزن النسبي	**0.073**	**0.50**	**0.026**	**016.**	**0.007**	**0.103**	**0.043**	**0.015**

كما أمكن التوصل إلي أن مركز ثقل الأطراف تقع على محاورها الطويلة تماما بينما المسافة الخاصة بمركز ثقل كتلة الجسم فتؤخذ من المفصل العلوي والتي تعتبر كنصف قطر الحركة وهي في نفس الوقت علاقة ثابته بالنسبة للطول الكلي للعضو أما مركز ثقل الجذع فإنه يقع على الجزء الموضح أي في المسافة التي بين المحور العرض لمفصلي الكتفين وبين مركز الثقل في هذه الحالة بمثابة نصف قطر حركة مركز الثقل أما بالنسبة للرأس فإن مركز الثقل يقع خلف عظم الخابور. كما تمكن كلاوسير من تحديد موضع مركز ثقل كتلة كل جزء من اجزاء الجسم على حدة وفق الجدول التالي:

جدول نسبة أنصاف أقطار مراكز ثقل كل جزء من اجزاء جسم الإنسان بالنسبة لطول محاورها الطولية (عن كلاوسير)

اجزاء الجسم	نسبة أنصاف أقطار مراكز ثقل كل جزء من اجزاء جسم الإنسان بالنسبة لطول محاورها الطولية (عن كلاوسير)
الرأس	46.4% عن قمة الرأس أو 53.6% عن تقاطع الذقن والرقبة.
الجذع	38% عن المدور الكبير للكتف أو 62% عن محور المعقدة.
العضد	51.3% عن محور الكتفين أو 48.3% عن محور المرفقين.
الساعد	39% عن محور المرفق أو 61% عن محور الرسغ.
اليد	18% عن محور الرسغ أو 82% عن السلامية الثالثة.
الفخذ	37.2 عن محور المقعدة أو 62.8% عن محور الركبة.

الساق	37.1 عن محور الركبة أو 62.9% عن محور رسغ القدم.
القدم	44.9% عن العقب أو 55.1% عن قمة الأصبع الأطول.



لتحديد مركز ثقل كتلة الجسم بأكمله يستخدم نظام التوافق الكرتيزية وتحدده فوق الصور أو الكروكي الذي يمثل الجسم بمقياس رسم محدد ثم توضع علامات على النقطة المتوسطة للمفصل وبيان المحور الطولي لاجزاء الجسم الذي يوضح أنصاف أقطار الحركة لمركز ثقل كتلة الجسم لكل مركز ثقل على حده ثم تقيس القيمتين الإحداثين (س، ص) الخاصتين بمراكز الثقل كل منها على حده ثم تضع هذه القيم في صورة جدول ثم تحسب المقدار المستخرج من الوزن النسبي لاجزاء الجسم وبعد ذلك عن المحور الإحداثى (ص) وبالمثل (س) أي تحسب العزوم الخاصة بمراكز ثقل اجزاء الجسم بارتباطها بالمحور الإحداثى المعلوم كنقطة دوران وحتى يمكن حساب قيمتي الإحداثين سم، صم باستخدام المعادلة والخاصتين بمراكز الثقل المشترك لجميع اجزاء الجسم توجد قيم (ص)، (س) منفصلين ونظراً إلى أن الوزن الكلى يكون له قيمة واحدة وعلماً بأن من الضروري وفقاً للمعادلة قسمة قيمة العزوم على الوزن الكلى فإن قيم (ص)، (س) يمثلان بالفعل القيمتين للإحداثين (ص)، (س) وهما خاصتان بمركز ثقل كتلة الجسم المشترك.

مثال: لتحديد مركز ثقل كتلة جسم اللاعب باستخدام طريقة الاجزاء (الطريقة التحليلية).

يراعى إتباع الخطوات التالية:

ضع علامة على النقاط الثابتة بالجسم.

وصل محاور أعضاء الجسم المختلفة مع ملاحظة أن المحور الطولي للجذع هو الخط الواصل بين منتصف كل من المحور الأفقي الواصل بين مفصلي الكتفين، مفصلي الفخذين.

حدد طول كل محور من المحاور الطولية الخاصة بكل جزء من اجزاء الجسم وباستخدام نسب أنصاف أقطار لكلاوسير حدد موضع مركز ثقل كل عضو على حده.

أوجد بعد مركز ثقل كل عضو على المحور السيني، والمحور الصادي.

أوجد عزم مركز ثقل كل عضو من أعضاء الجسم على حده حول المحور السيني، المحور الصادي و. س، و.ص وذلك بضرب المحور بعد مركز ثقل العضو عن المحور السيني × الوزن النسبي (عن كلاوسير) اضرب بعد مركز ثقل العضو عن المحور الصادي الوزن النسبي للعضو (عن كلاوسير).

أوجد مجموع نواتج ضرب بعد مركز ثقل العضو × وزنه النسبي لكل من المحور السيني والمحور الصادي حيث يصبح ذلك هو بعد مركز ثقل كتلة الجسم عن المحور السيني، المحور الصادي على التوالي (إحداثياً نقطة مركز ثقل كتلة الجسم في هذا الوضع).

جدول تحديد مركز ثقل كتلة الجسم باستخدام طريقة اجزاء الجسم

(الطريقة التحليلية)

اجزاء الجسم	نسبة أوزان الجسم	العزم حول ص	العزم حول س	ص مم	العزم حول ص
الرأس	0.073	6.8	0.496	6.9	0.574
الجذع	0.507	6.8	3.448	4.7	2.383
العضد الأيمن	026.	7.5	0.195	6.3	0.164
الساعد الأيمن	0.016	7.8	0.125	7.1	0.114
اليد اليمنى	0.007	8.2	0.057	8.2	0.057
العضد الأيسر	0.026	6.2	0.161	6.4	0.166
الساعد الأيسر	0.016	5.2	0.083	7.3	0.117
اليد اليسرى	0.007	4.2	0.029	8.3	0.058
الفخذ الأيمن	0.103	5.3	0.546	3.2	0.330
الساق الأيمن	0.043	3.1	0.133	3.4	0.146
القدم اليمنى	0.015	1.2	0.018	3.8	0.057
الفخذ الأيسر	0.0103	6.9	0.711	2.2	0.227
الساق اليسرى	0.043	4.8	0.335	1.2	0.052
القدم اليسرى	0.015	9.4	0.141	2.2	0.033
1.000	مجموع العزم	= 6.478	مجموع العزوم	= 4.408	

تعيين أوزان الاجزاء المختلفة للجسم:

قام العالم الألماني "فيشرFisher" بتعين أوزان الوصلات للاجزاء المختلفة للجسم كما في الجدول التالي:

النسبة المئوية لأوزان الوصلات (اجزاء الجسم الإنساني)

وصلات الجسم	أوزان وصلات الجسم
الرأس	%7
الجذع	%43
الفخذ	%12
الساق	%5
القدم	%2
العضد	%3
الساعد	%2
اليد	%1

هذه الأوزان مقربة.

تعين مركز ثقل من هذه الوصلات:

عين "فيشر Fisher " مواضع ثقل الوصلات، ووجد أن مركز ثقل الوصلة بالقرب من نهايتها القريبة كما موضح في الجدول التالي:

اسم الوصلة	المسافة النسبية (×) لمركز ثقل الوصلة مقاسة من النهائية القريبة لهذه الوصلة
الرأس	فوق الحافة العلا الوحشية للفتحة السمعية
الجذع من مفصل الكتف حتى مفصل الفخذ	0.44
العضد	0.47
الساعد	0.42
الكف (الأصابع نصف مثنية)	المفصل بين عظمي مشط وسلاميات الأصبع الثالث

الفخذ	0.44
الساق	0.42
القدم من عظم العقب حتى الإصبع الكبير	0.44

وتعتمد الطريقة التحليلية لتعيين مركز ثقل الجسم أساسا على نظرية فارنييون وتتلخص في:

إذا كان لمجموعة القوى المعطاة محصلة فإن عزم هذه المحصلة حول أي محور يساوي المجموع الجبري لعزوم قوى المجموعة حول نفس المحور.

خطوات العمل لتعيين مركز الثقل للجسم الإنساني:

يسجل الوزن المطلقة الحقيقي للوصلة الناتج من ضرب وزن الجسم (أ) في الوزن النسبي للوصلة.

تحدد أطوال الوصلات بالملليمتر على الصورة.

ضرب طول الوصلة بالملليمتر في المعامل الخاص بالمسافة النسبية لمركز يقل الوصلة مقاسة من نهايتها القريبة، ويتم قياس هذه المسافة المسافات النسبية لمراكز ثقل الوصلات على أن يعلم موضع مركز ثقل الوصلة بعلامة (×) على الرسم.

يتم قياس المسافة الأفقية بين موضع مركز ثقل الوصلة وبين المحور الصادي (×) الإحداثي الأفقي لمركز ثقل الوصلة.

يتم ضرب وزن الوصلة (أ) في المسافة الأفقية (×) ثم تجمع عزوم قوى الجاذبية بالنسبة للمحور العمودي.

يتم ضرب وزن الوصلة (أ) في المسافة العمودية (Y) ثم تجمع عزوم قوى الجاذبية بالنسبة للمحور الأفقي.

من خلال المعادلات الآتية يمكن حساب احداثيات مركز ثقل الجسم.

تعين قيمة (2×) على المحور الأفقي في الرسم كما تعين قيمة (Y2) على المحور الرأسي ثم يقام من النقطتين الناتجتين عمودان يتعامد كل منهما مع الآخر، حيث تكون نقطة التقاطع هي موضع مركز ثقل الج

خطوات التحليل:

ما هي طبيعة الحركة موضع الدراسة (حركة خطية ـ دورانية ـ عامة) في الفراغ بدون جهاز – بها دفع – لا يوجد دفع

ما هو نوع التصوير وطريقة التصوير.

تحديد عدد مرات محاولات التصوير.

تحديد مكان للتصوير.

الأدوات التي يمكن استخدامها.

كاميرا _ افلام

ج- علامات إرشادية

د- متر قياس أبعاد - ميزان مياه -شريط بلاستر -جهاز قياس شدة الإضاءة

د- بدء تجهيز اللاعب للتصوير

وتقوم فكرة التحليل على وصلاح أجزاء الجسم توضع شرائط على مفاصل اللاعب وتوضع شرائط بلاستر على مفصل الفخذ والركبة، الرسغ، الانكل ، الكتف، والمرفق.

عمود 1	عمود 2	عمود 3	عمود 4	عمود 5 (عمود 3 × عمود 4)	عمود 6	عمود 7 (كتلة اللاعب × عمود 6)	عمود 8	عمود 9	عمود 10 (7×8)	عمود 11 (7 × 9)
م	أجزاء الجسم	النسبة	طول الوصلة	بعد مركز ثقل الوصلة	الوزن النسبي	الوزن المطلق للوصلة	البعد عن x	البعد عن y	وزن الوصلة في المسافة الأفقية	وزن الوصلة في المسافة الرأسية
1	الرأس	-----	-----	------	%7					
2	الجذع	%44			%43					
3	العضد الايمن	%47			%3					
4	العضد الأيسر	%47			%3					

5	الساعد الايمن	%42			%3					
6	الساعد الأيسر	%42			%3					
7	الفخذ الأيمن	%44			%12					
8	الفخذ الأيسر	%44			%12					
9	الساق الأيمن	%42			%5					
10	الساق الأيسر	%42			%5					
11	القدم الأيمن	%44			%2					
12	القدم الأيسر	%44			%2					
13	مجموع الوصلات									

الخطوات التنفيذية لحساب مركز الثقل

العمود الأول يتم فيه وضع رقم الكدر

أجزاء الجسم توضع في العمود الثاني

نسبة أجزاء الجسم وفق جدول فيشر وبراون

يتم حساب طول الوصلة الخاصة بكل جزء من أجزاء الجسم

يتم حساب بعد مركز الثقل لكل وصلة وذلك عن طريق ضرب العمود 4 × 5 هم يتم حساب بعد مركز الثقل عن المسافة العلوية

العمود السادس يوضع فيه الوزن النسبي وفق نسب فيشربراون

البعد عن المسافة الراسية وذلك عن طريق حساب المسافة من مركز ثقل كل وصلة وبين المحور x وتسجل في العمود الثامن

البعد عن المسـافة الأفقية وذلك عن طريق حسـاب المسـافة بين مركز ثقل كل وصـلة وبين المحور y

وتسجل في العمود التاسع

الوزن المطلق للوصلة وتتم عن طريق

الوزن النسبي (عمود6) × وزن الجسم (الوزن المطلق)

وتوضع في العمود التاسع

10- العمود العاشر وهو وزن الوصلة × المسافة الراسية

9×7 (مجموعها يقسم على وزن الجسم)

11- العمود الحادي عشر وهو وزن الوصلة × المسافة الافقية

9×8 (مجموعها يقسم مع وزن الجسم)

نتيجة العمود (10) و (11) توضع على الرسم والتقائهما هو مركز ثقل كتلة الجسم

أولاً: مرحلة ما قبل التحليل(Pre-Analysis)

تمثل مرحلة ما قبل التحليل الأساس المنهجي لأي دراسة ميكانيكية حيوية، إذ تحدد الإطار المفاهيمي والتقني الذي ستبنى عليه بقية الإجراءات.

.1تحديد المشكلة والمتغيرات

يشير Duane Knudson (2021) إلى أن تحديد المشكلة البحثية وصياغة الأسئلة العلمية بدقة يُعد خطوة محورية في التحليل الحركي، لأنه يوجّه اختيار أدوات القياس ونوع البيانات المطلوبة. فبدون تحديد واضح للمتغيرات المستهدفة، يصبح جمع البيانات عشوائيًا وغير موجه.

ويؤكد David A. Winter (2009) ضرورة التمييز المبكر بين المتغيرات الكينيماتيكية (الإزاحة، السرعة، العجلة، الزوايا) والمتغيرات الكينتيكية (القوى، العزوم، القدرة الميكانيكية)، لأن طبيعة هذه المتغيرات تحدد نوع الأجهزة المستخدمة وإجراءات المعالجة اللاحقة. كما أن تحديد هذه المتغيرات مسبقًا يسهم في تقليل الأخطاء المنهجية أثناء التحليل العكسي.

.2اختيار أدوات القياس والتصوير

تعتمد دقة التحليل الحركي على جودة أنظمة التقاط الحركة. وتُعد أنظمة التقاط الحركة ثلاثية الأبعاد المعتمدة على العلامات (Marker-Based Systems) مثل:

- Vicon Motion Systems
- Qualisys

من أكثر الأنظمة استخدامًا في المختبرات البحثية، نظرًا لدقتها العالية في إعادة البناء ثلاثي الأبعاد للحركة (Qualisys, 2025).

في المقابل، تطورت أنظمة التقاط الحركة غير المعتمدة على العلامات(Markerless Systems) ، مثل:

- OpenPose

وقد أثبتت دراسات منشورة في Frontiers in Sports and Active Living (2020) قدرتها على إعادة بناء الحركة بدقة مقبولة عند استخدام عدة كاميرات وزوايا تصوير كافية.

.3المعايرة والتجربة الاستطلاعية

تُعد المعايرة (Calibration) عنصرًا حاسمًا لضمان صحة إعادة البناء المكاني. وتشير إرشادات Vicon Motion Systems (2024) إلى أن أي خلل في المعايرة يؤدي إلى انحرافات تراكمية في الإحداثيات ثلاثية الأبعاد، مما ينعكس مباشرة على دقة الزوايا والعزوم المحسوبة.

كما تؤكد وثائق مختبرات تحليل المشي في University of Alberta (2024) أهمية إجراء تجربة استطلاعية لضبط:

- شدة الإضاءة
- زوايا الكاميرات
- مجال الرؤية
- وضوح العلامات

وذلك قبل البدء في جمع البيانات الفعلية.

ثانيًا: مرحلة التحليل الفعلي(Data Acquisition & Processing)

.1جمع البيانات

تعتمد جودة البيانات على التزامن الزمني بين مصادر القياس المختلفة. فقد شدّد David A. Winter (2009) على ضرورة مزامنة الكاميرات، ومنصات القوى، وأنظمة التخطيط الكهربائي للعضلات (EMG) لضمان الاتساق الزمني بين الإشارات.

كما أظهرت دراسة منشورة في Frontiers in Sports and Active Living (2020)أن أنظمة Markerless مثل OpenPoseيمكن أن تقدم نتائج دقيقة عند توفر عدد كافٍ من الكاميرات وتغطية بصرية مناسبة.

.2المعالجة الأولية للإشارات

تتطلب بيانات الحركة ترشيحًا قبل الاشتقاق العددي لتقليل الضوضاء. وأكدت دراسة .Crenna et al (2021)أن مرشح Butterworth هو الأكثر استخدامًا في الميكانيكا الحيوية نظرًا لخصائصه الاستقرارية، شريطة اختيار تردد قطع مناسب لتفادي تشويه الإشارة.

وتوضح أدلة Autodesk (2026)أن اختيار تردد القطع يجب أن يستند إلى طبيعة النشاط الحركي وتردد الإشارة الحيوية.

.3استخراج المتغيرات الكينيماتيكية والكينتيكية

وفقًا لـ David A. Winter (2009)، يتم أولًا حساب الزوايا المفصلية ومعدلات تغيرها، ثم استخدام التحليل العكسي (Inverse Dynamics) لاشتقاق القوى والعزوم بالاعتماد على بيانات منصات القوة ونماذج أجزاء الجسم.

وتوفر برمجيات متخصصة مثل:

- Visual3D

أدوات متقدمة لحساب المتغيرات الكينتيكية بصورة شبه آلية، مما يقلل الأخطاء الحسابية اليدوية.

.4المقارنة بالنموذج المرجعي

يؤكد Adrian Lees (2002) أن مقارنة الأداء الحركي بالنموذج التقني المثالي تمثل حجر الأساس في تحليل الأخطاء الفنية وتحديد محددات الأداء، سواء في الألعاب الفردية أو الجماعية.

ثالثًا: مرحلة ما بعد التحليل (Interpretation & Reporting)

1. تمثيل البيانات

توصي أدلة Mokka (2024) بضرورة عرض الحركة ثلاثية الأبعاد مرفقة بالمنحنيات الزمنية للزوايا والقوى، مما يسهل تفسير النتائج وربطها بالسياق الحركي.

2. الثبات والصدق الإحصائي

أثبتت دراسة نُشرت في PLOS ONE (Puig-Diví et al., 2019) أن برنامج:

- Kinovea

يُظهر ثباتًا وصدقًا مرتفعين مقارنة بالمعايير الذهبية، مما يؤكد أهمية التحقق من ثبات المقيم (Inter-rater reliability) في الدراسات التطبيقية.

3. التفسير وصياغة التوصيات

تشير دراسة He et al. (2025) المنشورة في Bioengineering إلى أن القيمة الحقيقية للتحليل الحركي تكمن في تحويل النتائج الرقمية إلى توصيات تدريبية وعلاجية مبنية على متغيرات الأداء المحددة، بما يعزز الوقاية من الإصابات وتحسين الكفاءة الحركية.

الاستخدامات التطبيقية للتحليل الحركي

1. المجال الرياضي

- تحسين التقنية وتصحيح الأخطاء. (Winter, 2009)
- المقارنة بالنموذج المثالي. (Lees, 2002)
- نمذجة العضلات والعظام عبر نماذج Musculoskeletal (Springer, 2022).
- تحليل تحركات اللاعبين في الألعاب الجماعية. (Frontiers, 2024)

2. المجال الإرجونومي والصناعي

تُستخدم أنظمة مثل Qualisys في تقييم الوضعيات المهنية وتصميم بيئات العمل، بما يقلل الأحمال الواقعة على العمود الفقري والمفاصل ويحسن الكفاءة الوظيفية.

الخلاصة

تؤكد الأدبيات العلمية أن التحليل الحركي عملية منهجية مترابطة تبدأ بتحديد المشكلة والمتغيرات، مرورًا بجمع البيانات ومعالجتها، وانتهاءً بتفسير النتائج وتوظيفها عمليًا. وتعتمد جودة التحليل على:

- دقة المعايرة
- صحة الإشارة
- اختيار الأدوات المناسبة
- التكامل بين التحليل الكينيماتيكي والكينتيكي

وبذلك يمثل التحليل الحركي أداة علمية استراتيجية لتحسين الأداء الرياضي، ودعم القرارات التدريبية، وتقليل الإصابات، وتعزيز التطبيقات الإكلينيكية والصناعية.

قائمة المراجع(APA)

Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. Wiley.

Knudson, D. (2021). *Fundamentals of biomechanics* (3rd ed.). Springer.

Lees, A. (2002). Technique analysis in sports: A critical review. *Journal of Sports Sciences*.

Puig-Diví, A., et al. (2019). Validity and reliability of Kinovea. *PLOS ONE, 14*(6).

Crenna, F., Rossi, G. B., & Berardengo, M. (2021). Filtering biomechanical signals in movement analysis. *Sensors, 21*(13), 4580.

He, C., Fu, H., & Ma, C. Z. (2025). Biomechanics and motion analysis: From performance to clinical practice. *Bioengineering, 12*(10).

Qualisys. (2025). Human biomechanics research solutions.

Vicon Motion Systems. (2024). Motion capture calibration guide.

Visual3D (C-Motion). (2025). Movement analysis software documentation.

Frontiers in Sports and Active Living. (2020, 2024). Motion analysis studies.

Autodesk. (2026). Butterworth filter documentation.

University of Alberta. (2024). Gait analysis lab documentation.

المراجع

Knudson, D. (2013). *Qualitative diagnosis of human movement*. Human Kinetics.

Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. Wiley.

Hay, J. G., & Reid, J. G. (1988). *The biomechanics of sports techniques*. Prentice Hall.

Magill, R. A., & Anderson, D. (2017). *Motor learning and performance*. McGraw-Hill Education.

Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2019). *Motor control and learning*. Human Kinetics.

He, C., Fu, H., & Ma, C. Z. (2025). Biomechanics and motion analysis: advancements in performance modeling. *Bioengineering*, 12(10).

Pinder, R., Davids, K., & Renshaw, I. (2020). Ecological dynamics in skill acquisition. *Sports Medicine*, 50, 45–60.