1-طرق ووسائل التحليل الحركي الكمي:

يبحث علم التحليل الحركي في الأداء الحركي للإنسان والحيوان أو يدرس فيه الحركة التي يقوم بها، ويسعى هذا العلم في الميدان الرياضي إلي دراسة منحنى الخصائص للمسار الحركي للمهارة الرياضية سعيا وراء تحسين التكنيك الرياضي بهدف تصحيحه وتطويره وفقا لأحدث النظريات العلمية للتدريب الرياضـــي، لذ يلجأ العاملون في مجال الميكانيكا الحيوية للحركات الرياضية إلي استخدام طرق ووسائل التقويم المناسبة لدراسة الحركات الرياضية إلي استخدام طرق ووسائل التقويم المناسبة لدراسة الحركات الميكانيكية التي يؤديها الإنسان أو الحيوان مع مراعاة خصـــائص تلك الحركات وشـــروط أجهزتها الحركية التي تعتمد على العوامل البيولوجية للأعضاء من الناحية الوظيفية.

- اولا طريقة التحليل الحركي الكمي:

وترتبط طريقة التحليل الحركي الكمى بالطريقتين الخاصـــتين بالتعرف علي الميكانيكا وهما الطريقة الكينماتيكية والطريقة الديناميكية، لذا فإن المرء يعرف نوعين من طرق التحليل الحركي هما:

1. طريقة التحليل البيوكينماتيكية للمهارات الحركية.
2. طريقة التحليل البيوديناميكية للمهارات الحركية.

تهتم طريقة التحليل البيوكينماتيكية للمهارات الحركية بتوضـــيح ووصـــف أنواع الحركات المختلفة، عن طريق استخدام المدلولات الخاصة بالسرعة والعجلة التي وضعت على أساس من قياسات المسافة والزمن وتستخدم في سبيل تحقيق ذلك عدة وسائل منها ما يلي:

القياس اللحظي بواسطة الخلايا الضوئية ، التصوير بالأثر الضوئي، تصوير النبضات الضوئية (فوتوجرافيا)، جهاز تسجيل السرعة، التصوير السينمائي، القياس اللحظي بواسطة الخلايا الضوئية ،التصوير بالفيديو

- التصوير السينمائي:

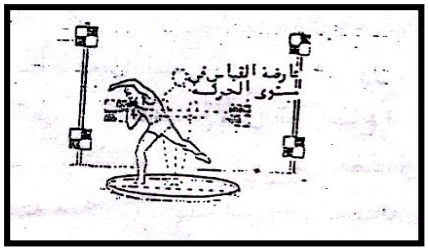
تطور في الأعوام الأخيرة التصوير السينمائي في المجال العلمي باستخدام أداة التصوير السينمائية ذات الدقة العالية في السرعات بالإضافة إلي التطور الكبير الذي طرأ علي وسائل التحميض، وقد استفاد العمل العلمي من هذا التطور وخاصة في ميدان الميكانيكا الحيوية حيث أصبح من المستطاع استخدام آلات التصوير السينمائي في تصوير أعداد كبيرة من الصور السينمائية في وحدات زمنية صغيرة، بحيث أصبحت المسافة بين وضع الجسم من صورة إلي أخرى متناهية في الصغر وكذلك الفترة الزمنية لحدوث هذه الحركة للجسم أصبحت أيضا متناهية في الصغر

-إجراءات تنظيم عملية التصوير السينمائي:

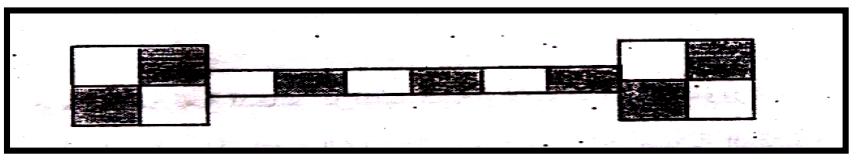
تتطلب إجراءات تنظيم عملية التصوير السينمائي ما يلي:

أولا: الأجهزة والمعدات:

1. آلة تصوير سينمائية 8مم ذات سرعات متعددة تعمل بمصدر كهربائي.
2. حامل ثلاثي لآلة التصوير السينمائية.
3. أفلام ختام ذات حساسية مناسبة لنوع ومكان ووقت التصوير.
4. علامات إرشادية ضابطة تحدد خلفية الصور كما في الشكل.



5. عارضة قياس مقسمة بدقة لتحديد مقياس الرسم عند تحليل الصور كما في الشكل التالي.



6. شريط قياس صلب لتحديد أبعاد التصوير.
7. خيط في نهايته مسمار يثبت أسفل حامل آلة التصوير السينمائية.

8. ميزان مائي.

9. مثلث كبير لرسم الخطوط المتعامدة.

10. شريط من البلاستر اللزج (ألوان) لتعليم مراكز مفاصل الجسم.

11. مقص.

12. جهاز قياس شدة الإضاءة لتحديد فتحة العدسة المناسبة لسرعة التردد المستخدمة في آلة التصوير في حالة عدم وجود هذا الجهاز بآلة التصوير السينمائية.

13. ساعة الكترونية كبيرة توضح في مجال التصوير–يرجع إليها من حساب الزمن في حالة عدم معايرة آلة التصوير.

14. لوحات مرقمة لتحديد ترتيب المحاولات أثناء التصوير.

15. الأدوات أو الأجهزة الخاصة بالمسابقة الرياضية المقرر تصوير اللاعبين خلال أدائها.

16. عدد 4 مصادر إضاءة قوة كل منها 1000 ك. ولاستخدامها في حالة إجراء التصوير داخل صالات التدريب.

17. ستارة من القماش الأسود علي شكل مربع طول ضلعه 4 أمتار لاستخدامها كخلفية عند التصوير.

ثانيا: إعداد مكان التصوير:

يتم إعداد مكان التصوير وفق الخطوات التالية:

تحديد المجال الذي سيتم فيه التصوير، ومكان الهدف المراد تصويره سواء كان علي الأرض أو علي جهاز (مثل جهاز المتوازيين أو العلقة أو الحصـــان أو الحلق أو القفز بالزانة أو الغطس....إلخ). توضع الستارة السوداء (الخلفية) خلف الغرض المراد تصويره بحيث يكون الغرض في منتصفها مع ملاحظة تثبيتها.

توضع العلامات الإرشادية الضابطة في خلفية مجال التصوير وفي مجال الحركة بالضبط.

توزيع مصادر الإضاءة علي أركان مجال التصوير في حالة ما إذا تم التصوير في صالة مغلقة مع ملاحظة توزيع شدة الإضاءة علي الهدف بصورة تظهره بوضوح.

التأكد من عدم وجود أي انحرافات في مكان التصوير ويتم ذلك باستخدام الميزان المائي.

ثالثا: إعداد وضع آلة التصوير:

– تأكد من أن آلة التصوير تعمل.

– تأكد من أن آلة التصوير قد ضبطت علي السرعة المطلوب استخدامها في التصوير بعد معايرتها.

– ضع الفيلم في آلة التصوير وتأكد من وضعه الصحيح فيها وذلك بتشغيلها لمدة ثانية أو ثانيتين.

– ضع آلة التصوير علي حامل التصوير الثلاثي.

– تأكد من عدم وجود أي انحراف أو تغيير في مستوى آلة التصوير وذلك باستخدام الميزان المائي.

– تأكد من أن المحور البصري المار من بؤرة عدسة آلة التصوير عدسة التصوير في مستوى الغرض المرصود، فإذا كان الغرض المرصود هو الشخص، فيجب أن تكون عدسة آلة التصوير في مستوى حوض الشخص وعمودية علي منتصف المسافة بين مفصلي الفخذين بينما تكون عدسة آلة التصوير في مستوى ارتفاع الجهاز الذي يتم عليه أداء المهارة وعمودية علي نقطة اتصال اللاعب بالجهاز (نقطة التعلق أو الارتكاز) من أحد الجانبين إذا كان التصوير سوف يتم علي المحور الأفقي وتحقق بقياس المسافة بين عدسة آلة التصوير والأرض بخيط أو بالشرط ومطابقتها بارتفاع الجهاز.

في حالة تصوير الحركة علي الحور الرأسي تتبع ما جاء في البندين (3 : 6) مع ملاحظة أن تكون آلة التصوير عمودية علي المستوى الأفقي بمعنى أن يكون المحور الرأسي لعدسة آلة التصوير موازي للمحور الرأسي لمسار الحركة.

في حالة التصـوير المسـار حول المحورين الرأسـي والأفقي ينفذ ما جاء في البندين (6، 7) مع ملاحظة إجراء التشـغيل آلتي التصـوير في تزامن واحد، بمعنى التحكم في تشـغيل آلتي التصوير بمصدر كهربائي واحد.

لضمان عدم حدوث انحراف أو تغيير عند إعادة الصور مرة أخرى بعد تصويرها، يجب إلي جانب جعل المحور البصـري لآلة التصـوير عموديا علي مسـتوى الحركة أن تكون زاوية الصـورة متناهية في الصـغر، ويمكن تحقيق ذلك عن طريق التصـوير من مسـافات كبيرة باستخدام عدسات مقربة بالإضافة إلي جعل الزاوية دائما قائمة تقريبا.

رابعا: تجهيز اللاعب للتصوير:

يجب أن يرتدي اللاعب الملابس الرياضية المستخدمة، بحيث تكون ملتصقة بالجسم تماما أو أن يتحرر من ملابسه، فيما عدا لباس بحر أو شورت قصير مناسب.

يراعي أن يكون هناك تباينا بين لون الملابس الرياضية التي يرتديها اللاعب وبين لون خلفية التصـوير، فإذا كانت خلفية التصـوير سـوداء يفضـل أن يكون لون ملابس اللاعب بيضـاء والعكس صـحيح، كما يجب أن يتحقق هذا التباين في اللون أيضـا بين الجهاز أو الأداة وكل من الملابس والخلفية، وذلك لتسـهيل عملية نقل النموذج التخطيطي للأوضـاع التي يمر بها اللاعب خلال المسار الحركي والتي سوف تحدد كنقاط للدراسة فيما بعد.

توضـع علامات واضـحة علي شكل (×) أو نقطة كبيرة (●) علي النقط التشـريحية لمفاصـل جسـم اللاعب المواجهة لعدسـة التصـوير ويتحقق ذلك بلصـق شـريط من البلاسـتيك اللزج بإحدى الشكلين السابقين تحديدهما علي النقط التشريحية للمفاصل بحيث يكون طول الشريط الملتصق من 1سـم: 1.5سـم كما يراعى أن أماكن النقاط التشريحية لمفاصل الجسم تحدد كما يلي:

- توجد النقطة الكتف تمثله نقطة علي النتوء الاخرومي لعظم اللوح.

-مسقط مفصل المرفق تمثله نقطة فوق العقدة الوحشية لعظم العضدLateral Epicondyle

-مســـقط مركز مفصـــل رســـخ اليد تمثله نقطة علي نتوء عظم الكعبرة Processus Styloideus.

- مسقط مركز مفصل الفخذ تمثله نقطة علي الدور الكبير لرأس عظم الفخذ.

- مسقط مركز مفصل الركبة تمثله نقطة أعلى العقدة الوحشية لنهاية عظم الفخذ من أسفل.

- مسقط مركز مفصل رسغ القدم تمثله نقطة علي الكعب الوحشي لعظم الشظية.

- وفي حالة تصـوير الحركات ذات المدى الواسـع فإنه يجري اسـتبدال العلامات الصـغيرة للبلاستير اللزج بوضع أشرطة من البلاستر تحيط بالوصلات عند مستوى مركز ثقلها.

يجب مراعاة عند تصـوير الحركات الرياضـية التي تسـتخدم فيها أداة (جلة – قرص، رفع الأثقال....الخ)، أن تضاف علامة تحدد مركز ثقل هذه الأداة.

خامسا: إجراء عملية التصوير:

بعد الانتهاء من الإجراءات السـابقة في البنود أولا، ثانيا، ثالثا، يتم التصـوير وتسـجيل جميع البيانات المتعلقة بكل محاولة في الاستمارة الخاصة

- طرق تحديد مركز ثقل الجسم:

لكي يتمكن الفرد من تحديد التغير في مكان كتلة جســم الإنســان بالنســبة للمكان والزمان بطريقة دقيقة يتحتم عليه معرفة موضــع مركز ثقل كتلة الجسـم بالنسـبة للأوضـاع المختلفة التي يتخذها جسم الإنسـان بالإضـافة إلي ضـرورة معرفة عزم القصـور الذاتي للكتلة بالنسـبة لمختلف الأوضاع التي يتخذها الجسم في حالة الحركة الدورانية.

لذا فقد شـغلت الرغبة في التوصـل إلي معرفة موضـع مركز ثقل كتلة جسم الإنسـان الباحثين منذ زمن بعيد حيث قام الكثيرون بإجراء وتطوير طرق البحث المختلفة لمعرفة ذلك، ويمكن تقسيم هذه الطرق إلي ما يلي:

- الطريقة المباشرة (باستخدام الجسم كوحدة واحدة).
- 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 علي لوحة من الخشب مركزا علي 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 عليها هذا الجسم أيضا، حيث أنه عن طريق تحريك اللوح الخشبي فوق الدعامة المرتكز عليها يكون هناك مركز ثقل جسم الشخص علي 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 علي 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 عليه 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 علي الأرض.

لذا فقد توصل "ديبوز ريموند" إلي جهاز أطلق عليه 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 علي مستوى واحد، ونظرا لتمتع الأجسام بخاصية التماثل فإنه من الممكن في معظم الأحيان الاستغناء عن خط الثقل الثالث، وقد قام "بازلر" بإضافة تطويرات جديدة علي ميزان مركز الثقل الخاص بريموند مستخدما في تجاربه

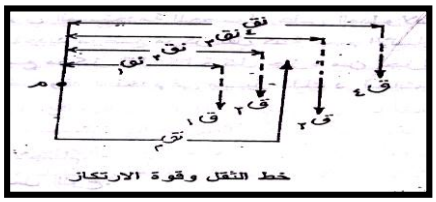
الكثيرة منصة مثلثة الشكل متساوية الزوايا بحيث يتركز عند إحدى الزوايا علي جسم ثابت بينما يتركز في زاويتيه الأخيرتين فوق ميزان لوزن الأشخاص وباستخدام هذا الجهاز يمكن إيجاد خطين للثقل تمثل نقطة تقاطعهما مركز ثقل الجسم.

- الطريقة غير المباشرة:

تعتمد الطرق المستخدمة للحصول علي المدلولات التي يمكن عن طريقها تحديد موضع مركز ثقل كتلة جسم الإنسان علي مبدأ معرفة موضع مركز ثقل كتلة كل جزء من اجزاء جسم الإنسان كل علي حدة وقد استخدم في سبيل ذلك دراسات مختلفة منها: دراسة الجثث، دراسة عمر الأجسام، دراسات رد فعل اللوح، دراسات النماذج الرياضية، الدراسات المتنوعة. وفيما يلي نذكر أكثر الطرق العلمية التجريبية والتحليلية انتشارا واستخداما في تحديد موضع مركز ثقل كتلة جسم الإنسان.

- **الطريقة التحليلية لتحديد موضع مركز ثقل كتلة الجسم وفق رأي "كنول وايجرز":**

تعتمد هذه الطريقة على قانون أفضل الأوضاع علما بأن هناك توجد حالة خاصة تتمثل في أن القوى تتقاطع خطوط متوازية التأثير وتنطبق على تأثيرات القوى الموضحة في الشروط التالية لحدوث التوازن:



وهذه الطريقة يمكن استخدامها في تحديد موضع مركز ثقل كتلة جسم اللاعب وذلك إذا كان من المعلوم لنا وضع مركز ثقل كل جزء من اجزاء الجسم على حدة، وكذلك وزن الجسم.

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 لأجزاء 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 لأجزاء 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.

تعيين أوزان الاجزاء المختلفة للجسم:

قام العالم الألماني "فيشر Fisher" 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 العليا 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 علي نظرية فارنيون 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 بالمليمتر علي الصورة.

– ضرب طول الوصلة بالمليمتر في المعامل الخاص بالمسافة النسبية لمركز يقل الوصلة مقاسة من نهايتها القريبة، ويتم قياس هذه المسافة المسافات النسبية لمراكز ثقل الوصلات علي أن يعلم موضع مركز ثقل الوصلة بعلامة (×) علي 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×) علي المحور الأفقي في الرسم كما تعين قيمة (Y2) علي المحور الرأسي ثم يقام من النقطتين الناتجتين عمودان يتعامد كل منهما مع الآخر، حيث تكون نقطة التقاطع هي موضع مركز ثقل الجسم