٥. **متغير التعجيل:** اما حساب التعجيل فيتم بعد احتساب السرعة ومن خلال القانون الاتي:

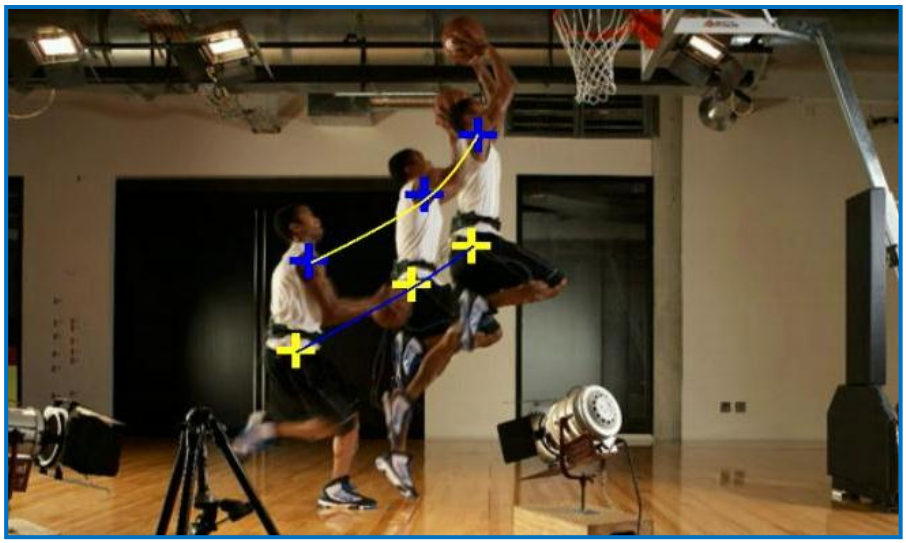
$$\text{التعجيل} = \frac{\text{السرعة النهائية – السرعة الابتدائية}}{\text{الزمن}}$$

ولكن يجب الانتباه هنا الى ان الزمن المطلوب هو الزمن الذي حدث في التغير أي من بداية التغير الذي حصل للسرعة الابتدائية ولغاية الوصول الى السرعة الثانية أي ان الزمن هنا هو زمن السرعة الثانية.

٦. **رسم المسار الحركي:** المسار الحركي هو خط يرسم المهارة الحركية من بدايتها وحتى نهايتها عن طريق رسم مسارات لنقاط مفاصل الجسم فاذا ما اردنا رسم المسار الحركي لنقاط الجسم كاملا خلال أداء حركة ما او مهارة معينة فلابد من تحديد وتعين العلامات على مفاصل الجسم لرسم المسار الحركي وهي (علامة وسط الرأس من الجانب/ علامة الكتف/ علامة المرفق/ علامة الرسغ/ علامة الورك/ علامة الركبة/ علامة القدم) واحيانا يضاف اليها علامتين هما:

أ- علامة مركز ثقل الجسم

ب- علامة الاداة (كرة تنس، كرة سلة، ثقل، قرص).



**مثـال تطبيقـي:** مـن خـلال التسلسـل الصـوري لأداء فعاليـة الوثـب الطويـل، اوجـد المتغيرات الكينماتيكية التالية، علما ان سرعة الكاميرا المستخدمة كانت (١٢٠ صورة/ ثانية) وان مقياس الرسم المستخدم كان (١ متر)؟

١. طـول الخطـوة الاخيـرة/ ٢. زمـن الخطـوة الاخيـرة/ ٣. سـرعة الجسـم فـي الخطـوة الاخيرة/ ٤. زاويـة الاقتراب/ ٥. زاويـة الركبـة لحظـة الاقتراب/ ٦. زاويـة النهوض/ ٧. زاوية الورك مع رجل المرجحة لحظة النهوض/ ٨. زمن الارتقاء/ ٩. زاوية الانطلاق / ١٠. سـرعة الانطـلاق / ١١. ارتفـاع نقطـة الانطـلاق/ ١٢. اعلـى ارتفـاع فـي الطيران/ ١٣. زمن الطيران/ ١٤. زاوية ميل الجسم في الهبوط/ ١٥. مسافة الهبوط/ ١٦. الطاقة الحركية لحظة النهوض/ ١٧. الطاقة الكامنة في اعلى ارتفاع يصله في الطيران/ ١٨. التعجيل بين النهوض والارتقاء.

**ملاحظة هامة:**

**في حالة تعذر ايجاد مركز ثقل الجسم لاستخراج المتغيرات الكينماتيكية اينما ذكرت سابقاً فمن الممكن الاستعانة بنقطة الورك بدلاً عنها.**

**الخطوة الرابعة: استخراج المتغيرات الكينتيكية:**

تأخذ المتغيرات الكينتيكية في طريقة استخراجها بشكل دقيق طابع خاص كونها تعتمد على اجهزة خاصة معدّة لهذا الغرض مثل منصة قياس القوة ( Force Platform) وماسح القدم (Foot scan)، إذ تعطي هذه الاجهزة القراءات للقوة المسلطة وزمنها وكمية الدفع والضغط إضافة الى متغيرات اخرى ولكن تبقى هناك بعض الفروقات بين هاذين الجهازين وهي خاصة بالشركات المصنعة لها ومن أهمها البلجيكية والالمانية وتتفاوت هذه الشركات فيما بينها من حيث المتانة في الصنع وعدد المتغيرات وتفاصيل اخرى ومن هذه الفروقات المسجلة بينهما هي بداية ونهاية القراءة فعند بعض الشركات المصنعة تتوقف القراءة بعد مغادرة القدم للجهاز **(مثل أداء حركة القفز العمودي على الجهاز)** في حين تستمر القراءة على الجهاز الاخر لحين الانتهاء من الاداء بشكله الكامل، وهذا يعطي الافضلية للقراءة الثانية فمنها نستطيع معرفة زمن الطيران الذي يبدأ من لحظة ترك المنصة ولغاية العودة عليها فضلاً عن القراءة التي ممكن الحصول عليها لمتغيرات القوة لحظة الاصطدام بالمنصة بعد الهبوط من القفز وهذا ما لا يمكن الحصول عليه في القراءة الاولى.

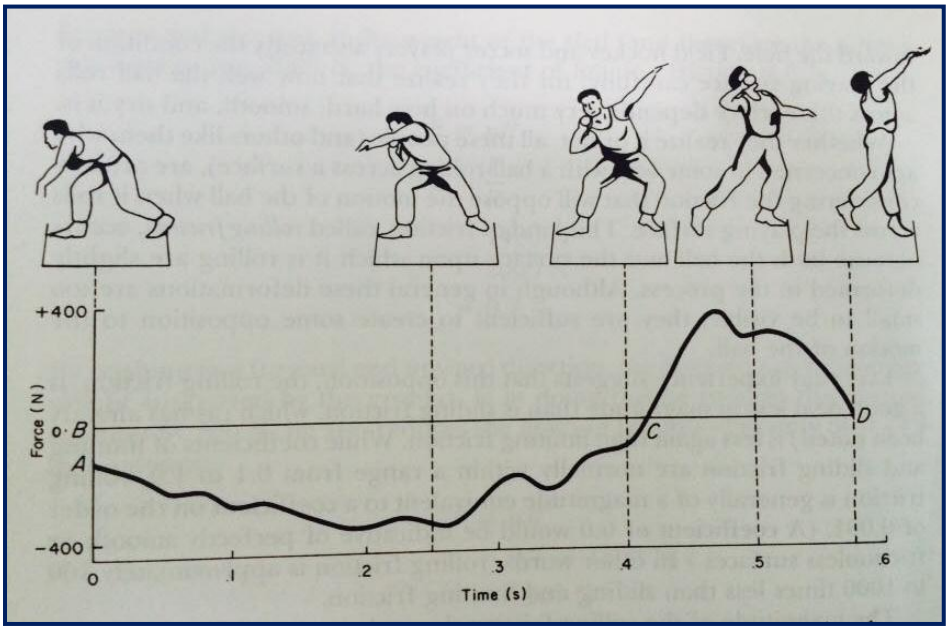
وتختلف الاجهزة القديمة عن ما يصنع حديثاً لأجهزة منصة القوة بعدة اختلافات فسابقا كان الجهاز يقرأ قيمة القوة والزمن فقط بشكل اجمالي ويعطي مسارها من خلال منحنى بياني لها، اما الان فنرى الاجهزة الحديثة تعطي اضافة الى ما تعطيه الاجهزة القديمة القيم الرقمية لمتغيرات اخرى منها الازمان بالتفصيل (بداية، نهاية، اعلى قوة، اقل قوة، كلي) وكمية الدفع وكمية الضغط المسلط ومتغيرات اخرى وكل ذلك ليس فقط بشكل اجمالي بل لكل قدم (يمين ويسار) فضلا عن تقسيم القراءة الواحدة للقدم الى عشرة مناطق تسجل فيها كل المتغيرات الموجودة ولكل منطقة من هذه المناطق العشر للقدم الواحدة وهذا ما لم يكن ممكن الحصول عليه في الاجهزة القديمة.

الاختلاف الاخر في طريقة حساب القوة فسابقاً كان يعتمد على التصفير قبل الاختبار **(يقصد بالتصفير هو جعل قراءة منصة القوة صفراً عند وقوف الشخص المختبر عليها اي تلغى القيمة الرقمية للوزن الناتج من كتلة المختبر عند وقوفه على المنصة)** والهدف من ذلك هو الحصول على قيمة القوة المسلطة الفعلية عند الدفع على المنصة بدون الوزن للمختبرين كنقطة شروع واحدة لهم. اما الان مع الاجهزة الحديثة تحتسب القوة المسلطة لهم عند الدفع للمختبرين ومن ضمنه اوزانهم وذلك للوصول الى القيمة الحقيقية لتأثير القوة المسلطة كون هذه القوة تتزايد ليس فقط بزيادة الوزن بل بزيادة سرعة الهبوط على المنصة واذا علمنا ان القوة المسلطة على المنصة عند الهبوط عليها تزداد بزيادة الزخم فيجب ان نعلم حقيقية اخرى ان القراءة للقوة المسجلة تتضاعف بزيادة السرعة مضروب في وزن الجسم وفق قانون الزخم:

**الزخم = الكتلة × السرعة**

اي ان رفع كتلة الشخص المختبر وتصفير الجهاز سوف لن يعطي القيمة الحقيقية للقوة المسلطة التي تفسر تأثيرها الفعلي في الاداء.

وعلى اساس الاختلاف في التصفير سابقا وحديثا نجد هناك اختلافات في الرسم لمنحنى القوة والزمن بين الاجهزة القديمة والاجهزة الحديثة وافضل وهذا الاختلاف سينعكس على طريقة قراءة المنحى وتفسيره، وافضل مثال ممكن ان نذكره في تفسير منحنى القوة والزمن سابقا هو ما جاء به James Hay في كتابه والذي أعطى فيه مثالاً لرامي الثقل اثناء ادائه لحركة الرمي على منصة قياس القوة ومن خلال القراءات المسجلة لمنحى القوة والزمن يفسر Hay لنا اسباب ظهور القوة الايجابية **(فوق المنحنى)** والقوة السلبية **(تحت المنحنى)** كما في الشكل الاتي.

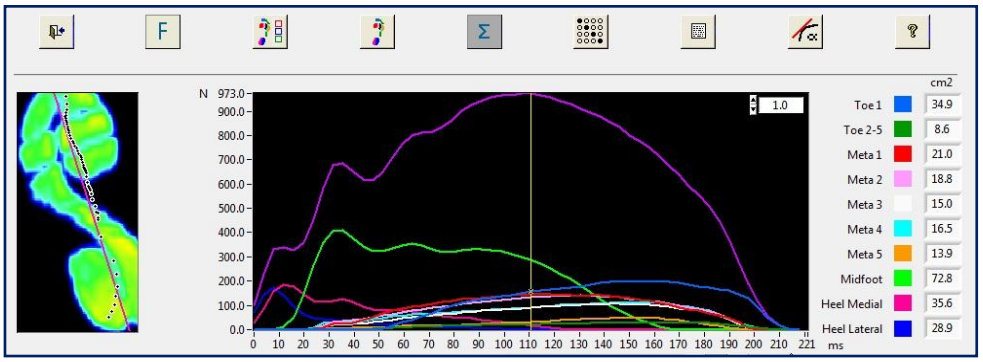



ويبين هذا الشكل التغير الحاصل في القراءة للقوة المسلطة على المنصة (السلبي والايجابي) وفق التغير الحاصل في حركة جسم رامي الثقل ومعه تتغير اتجاه القوة كما ان التغير في قيمة القوة الكلية يتأثر بتغير الزمن وبالتالي مساحة ما تحت المنحنى والذي يعبر عن كمية الدفع في كل لحظة من مسار الاداء لحركة الرمي وبالتالي يكون مجموع هذه المساحات سواء كانت للدفع الموجب او السالب (تحت المنحى وفوق المنحنى).

ويأتي تفسير ما يحصل لمسار القوة في زيادتها ونقصانها الى اتجاه قوة رد الفعل من الارض، فكلما كانت اتجاها مع اتجاه حركة الرمي زادت قيمة القوة والمسجلة وبالعكس (حسب قانون نيوتن الثالث الفعل ورد الفعل) اي ان الرامي كلما ارد اكتساب قوة اكبر لرمي الثقل وجب عليه زيادة قوة رد فعل الارض وباتجاه حركة الرمي للثقل.

اما المنحنيات في الاجهزة الحديثة لا يوجد فيها مسار تحت المنحنى للقوى ونجد ان جميعها تبدأ من الصفر ولا يوجد دون ذلك كما ان المسارات ترسم ليس فقط

للقوة بل ايضا للضغط المسلط وفي كلا الحالتين ترسم المسارات لعشرة مناطق للجسم وايضا لمسار محصلة القوى الكلية وكما في الشكل الاتي.




وفي كل ما ذكر هنا بخصوص المتغيرات الكينتيكية نجد ان القيمة الرقمية والمنحنى المرسوم لها يعبران ويفسران تأثير هذه القوى في الاداء المهاري بصورته الايجابية والسلبية سواء كانت في الاجهزة القديمة او في الاجهزة الحديثة.

ومن الممكن استخراج المتغيرات الكينتيكية بشكل غير مباشر من خلال التحليل وذلك من خلال متغيرات كينماتيكية بالاضافة الى معرفة كتلة اللاعب وعلى ضوء ما موجود لدينا من قوانين فيزيائية نستطيع التوصل الى المتغير المطلوب مثل:

القوة = الكتلة × التعجيل

الشغل = القوة × الازاحة

القدرة = الشغل / الزمن

الزخم = الكتلة × السرعة

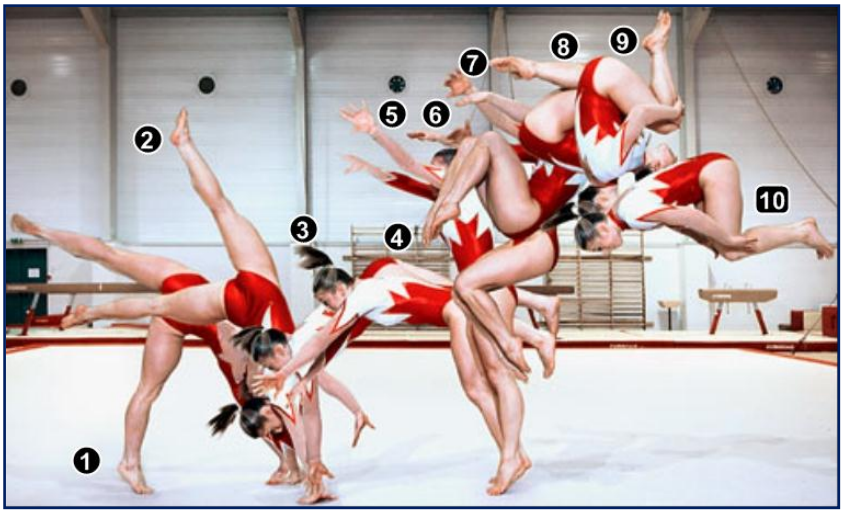
الطاقة الحركية = الكتلة × ٠,٥ × (السرعة)$^{٢}$

الزخم الزاوي = الكتلة × (نصف القطر)$^{٢}$ × السرعة الزاوية

القوة الطاردة = الكتلة × (السرعة الخطية)$^{٢}$ / نصف القطر

وهذه المتغيرات تختلف دقتها في طريقة استخراجها معا ما يمكن الحصول عليه من الاجهزة بشكل مباشر وبالأخص متغيرات القوة ويكمن الاختلاف في المدة

المستخدمة فعندما تستخرج المتغيرات من بداية القسم الرئيسي للحركة ولغاية نهايتها هي بالتأكيد ليست نفس القيمة الرقمية المتحصلة من الجهاز والتي تعطي القيم في كل لحظة انتقال من بداية القسم الرئيسي ولغاية نهايته فالقيم هنا تمثل قيم لحظية اما في الطريقة الاولى فهي تمثل المعدل العام لهذا القسم من الحركة، **فناتج القيمة الرقمية للمعدل يختلف عن القيمة الرقمية لبداية أو نهاية المرحلة التي تم قياس المعدل فيها.**




الشكل اعلاه فيه اداء للاعبة الجمناستك وهي تؤدي مهارة القفزة العربية متبوعة بقلبة هوائية مكورة، وكما هو واضح في التسلسل الصوري للأداء المهاري من (١-١٠) نجد اننا نستطيع مثلاً ايجاد اي من المتغيرات الكينتيكية بصيغة المعدل من صورة رقم (١) ولغاية الصورة رقم (٦) على العكس من استخراج الناتج بصيغة لحظية، اي اننا نستطيع الحصول على خمس قيم تمثل كل لحظة انتقال في حين المعدل يعطي قيمة واحدة لكل هذه الانتقالات.