مجلة التميز، المجلد 03 ، العدد 02، (السنة 2021)، ص ص:61-71

قوائم المحتويات متاحة على ASJP المنصة الجزائرية للمجلات العلمية

مجلة التميز

الصفحة الرئيسية للمجلة: www.asjp.cerist.dz/en/PresentationRevue/673

تحليل الاستطاعة الميكانيكية عند بعض التغييرات الوظيفية للأطراف السفلية لدى الرياضي

Analysis of mechanical ability in some functional changes of the lower limbs of the athlete

الحاج عيسى رفيق [1] [*] r.hadjaissa@lagh-univ.dz

[1] جامعة عمار ثليجي (الجزائر)، مخبر الابعاد المعرفية والتصورات التطبيقية في علوم التدريب الرياضي من خلال مقاربات متعددة،

معلومات المقال

تاريخ المقال:

الإرسال:

المراجعة:

القبول:

الكلمات المفتاحية:

الاستطاعة

الاستطاعة الميكانيكية

مؤشر الاستطاعة العضلية

الطاقة المرنة

التغييرات الوظيفية

ملخص

يتكون المركب عضلة- وتر من عنصر مطاطي أساسي لوظيفته. حيث تتكون هذه السلسلة المرنة من الناحية الفيزيولوجية من جزء حيوي يقع داخل العضلة القلبية الساركومير وجزء سلبي يتكون من الأنسجة الوترية (الوتر واللفافة). وله دور رئيسي في تحسين الحركة من خلال تحسين كفاءة الطاقة للعضلة وكذا العمل الذي تم إنتاجه. فتحليل ديناميكية الدفع من خلال كمية الحركة يظهر وجود خصائص عامة لتحديد تسارع الجسم: كالنبض، كمية القوة المطبقة، والوقت المستغرق. ان استخدام مؤشر الاستطاعة العضلية له أهمية حيوية لجميع رياضيي الرياضات الجماعية، سواء من حيث الاداء، أو كحماية للمفاصل. حيث ان انتاج المزيد من القوة يتم عن طريق إجراء دورة تقلص-تمتد وذلك مقارنةً بعمل الكونسونتريك البحت. هذه الحقيقة ليست فقط مرئية في التدريبات الأساسية مثل squat، ولكن أيضا في تمارين الجري والسباحة والقفز، ..الخ. وبفضل العديد من الدراسات المختلفة، فان هذا الأخير يرجع إلى الطاقة المرنة المخزنة أثناء مرحلة الاكسونتريك. وبالتالي يفضل نقل القوة بنفس الطريقة التي يتم بها نقل الجهد بسهولة وبسرعة أكبر بفضل الرافعة الصلبة بدلاً من المرونة. ولكن هذا يحدث فقط عندما تطبق البليومتري.- ولكن ماهي الاستطاعة الميكانيكية؟ - وكيف يمكن تقييمها؟- وماذا يمثل مؤشر الاستطاعة العضلية؟

Keywords

Capacity

mechanical power

muscular power index

elastic energy

Functional changes

Abstract

A muscle-tendon complex consists of a rubber component essential to its function. This elastic chain is physiologically composed of a vital part located within the sarcomere myocardium and a passive part formed by the tendon tissue (tendon and fascia). It has a key role in improving movement by improving the energy efficiency of the muscle as well as the work produced. Analyzing the dynamics of thrust through momentum shows that there are general characteristics for determining the acceleration of an object: the pulse, the amount of force applied, and the time spent. The use of the muscular ability index is of vital importance to all team sports athletes, both in terms of performance, and as a protection for joints. Whereas, more force is produced by a contraction-stretch cycle compared to a purely concentric action. This fact is not only visible in basic exercises like squat, but also in running, swimming, jumping, etc. Thanks to many different studies, the latter is due to the elastic energy stored during the axontric phase. Thus, it is preferred to transfer force in the same way that effort is transferred more easily and quickly thanks to rigid lever rather than flexibility. But this only happens when you apply plyometrics. - But what is mechanical power? - How can it be evaluated? - What is the muscular ability index?

[*] المؤلف المرسل: الحاج عيسى رفيق. r.hadjaissa@lagh-univ.dz

1. مقدمة

الحركة، بما في ذلك القدرة على التحرك بسرعة هي واحدة من الوظائف الحيوية الرئيسية للحيوانات، اما لالتقاط الفريسة أو هربا من الحيوانات المفترسة.

يجد الانسان في الرياضة دورا رئيسيا على جميع الأصعدة، وبالخصوص في المنافسات التي وعلى أساسها تحدد الاختلافات بين الأفراد من ناحية القدرات البدنية، وكذا قدرتهم على التحكم في أجسادهم.

عند القيام بالتدريب عن طريق أحد أنظمة التقلص أو بدمج بعضها، نشعر بإنتاج المزيد من القوة عن طريق إجراء دورة تقصير تمتد مقارنةً بالعمل الاكسونتريك. هذه الحقيقة ليست فقط مرئية في بعض التدريبات الأساسية مثل squat، ولكن أيضا في تمارين الجري والسباحة والقفز ،..

وبفضل الدراسات المختلفة، أن هذا يرجع إلى الطاقة المرنة المخزنة أثناء مرحلة الاكسونريك، والتي تم التحضير لها، مثل المنجنيق، عند انطلاق مرحلة القذف.

(Alexander, 1991) ان عضلات الرياضي التي تنتج جزءا من القوة اللازمة انطلاقا من نفس الحركة، وهذا ما نسميه الطاقة المرنة. فالمصدر الأول لإنتاج الطاقة هو تلك العملية التي تدعوا الى القيام بآليات الأيض الغذائي. أما المصدر الثاني للطاقة الميكانيكية، هي تلك التي يطلق عليها اسم (الطاقة المجانية)، فهي لا تتطلب استخدام مواد عضوية، بل تستخدم الطاقة المرنة، لذا يمكن استرجاع الطاقة الحركية المخزنة من البنية الجسمية المرنة. ان في أغلب الأحيان وعند طاقة المستعملة في العضلات، يركز الباحثون الاهتمام بشكل رئيسي على التفاعلات الكيميائية التي توفر الطاقة اللازمة للعضلات النشطة. في الغالب، يترك جانبا الجزء الذي اتخذته تبادلات الطاقة الميكانيكية في اقتصاد الحركة. باستخدام أمثلة من الحركة البشرية، ومنه نسعى إلى إظهار أن التفاعلات الميكانيكية التي تحدث في الجسم ككل و / أو في الأجزاء المكونة له، أو الطاقة الميكانيكية المخزنة داخل العضلات، تمثل جزءًا كبيرًا من الطاقة المستخدمة لإنتاج عمل عضلي

2. المبادئ الأساسية للحركة الديناميكية

2. 1. تحليل ديناميكية الدفع من خلال كمية الحركة

حسب (Newton, 1687) ان تحليل ديناميكية الدفع من خلال كمية الحركة يظهر وجود ثلاث خصوصيات ميكانيكية للدفع تسمح بتحديد تسارع الجسم خلال الحركة وبالتالي التفوق اثناء اداء الحركة الانفجارية وهي كالتالي :

- ✓ النبض (المنتج المطبق) على المحيط الخارجي.
- ✓ كمية القوة المطبقة اثناء الدفع (والمتمثلة في القوة المتوسطة المنتجة اثناء مرحلة الدفع).
- ✓ الوقت المستغرق لأداء هذه القوة Pierre Samozino. (2010)

2. 2. تحليل ديناميكية الدفع من خلال الطاقة الحركية

تظهر وجود اربع خصوصيات ميكانيكية للدفع تسمح بتحديد تسارع الجسم خلال الحركة وبالتالي التفوق اثناء اداء الحركة الانفجارية وهي كالتالي :

- ✓ العمل الميكانيكي (المنتج - المطبق) على المحيط الخارجي.
- ✓ كمية القوة المطبقة اثناء الدفع (والمتمثلة في القوة المتوسطة المنتجة اثناء مرحلة الدفع).
- ✓ المسافة التي طبقت عليها هذه القوة.
- ✓ الاستطاعة المتوسطة المنتجة اثناء مرحلة الدفع .

3. تقييم القدرات الميكانيكية للأطراف السفلية

3. 1. أنواع الحركات المختلفة

ان تقييم قدرات الميكانيكية للعضلات الباسطة عند الأطراف السفلية يتطلب تحديد علاقة قوة - سرعة واستطاعة - السرعة. فالحصول على هذه العلاقات يتطلب امتدادا كبيرا للعضلات الباسطة عند الأطراف السفلية، وتطبق كل منها في وضعيات ميكانيكية مختلفة. كل منها تتحقق في ظروف ميكانيكية مختلفة والتي تمثل عدة مناهج تجريبية تتطلب مايلي:

- (Wilson et al., 1997) للسيطرة على سرعة الحركة وبقاءها ثابتة عند قياس القوة الناتجة، حركة isocinétique، والاختبارات طبقة على سرعات مختلفة.
- (Rahmani et al., 2004) الاحتفاظ بالقوة ثابتة (قوة المقاومة)، وقياس التغيرات في سرعة القوة، حركة isoinertiel. عند كل اختبار يمثل قوة المقاومة أو حمولة مختلفة تشمل القوة المنتجة وسرعات مختلفة للحركة

- (Yamauchi et al., 2007) السيطرة على القوة الناتجة وذلك للحفاظ على الثبات في كل اتجاهات الحركة، حركة isotonique، الاختبارات أجريت بقيم مختلفة للقوة

3. 2. تقييم الحركات الدورية

3. 2. 1. حركة الدواسات

حسب (Ericson et al., 1986; Neptune et al., 1997) تم تقييم القدرة الميكانيكية عند الأطراف السفلية خلال حركات الدواسات. وقد استخدمت هذه الخطوة على نطاق واسع لأنها حركة "موجهة" (من الدواسات)، وذلك بقيود ميكانيكية (القوة والسرعة) فهي سهلة السيطرة، وقابلة للقياس. حركة الدواسات، والتي يمكن تعريفها بالعمل الدوري للأطراف السفلية، أي أنها تعمل معا ولكن بشكل معاكس، كما تحث ثلاثة مفاصل من الطرف السفلي (الفخذ، الركبة، والكاحل). لإنتاج القوة خلال مرحلة الدفع يكون بشكل أساسي من خلال العمل الكونسونتريك لعضلات الركبة الباسطة والعضلات الباسطة من الفخذ، ثم تستخدم عضلات الكاحل في المقام الأول لتحقيق الاستقرار.

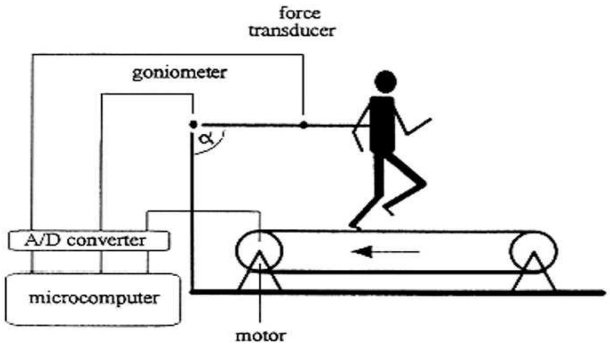
(Arsac et al., 1996) تحديد العلاقة القوة-السرعة للدواسات والناتج من خلال مجهود الحد الأقصى 5-8 ثواني وذلك لكل ساق يحمل بين 10 و20 تمديد للساق.

(Linossier et al., 1996) كل سباق يوفر قيمة سرعة مساوية لقيمة القوة، والذي يسمح، انطلاقا من عدة سباقات للسرعة ضد قوى الاحتكاك المختلفة، يمكننا الحصول على علاقات القوة -(والاستطاعة) - السرعة.

3. 2. 2. حركة الجري على القدمين

حسب (Lakomy 1984 1987b Lakomy, 1984, 1987b, a; Belli et Lacour, 1989; Jaskolska et al., 1999b; Jaskolska et al., 1999a) طريقة "الجري المتكررة" فقد تم استعمالها من خلال الجهاز الديناميكي للبساط المتحرك للجري لقياس القوة والسرعة من خلال مراحل الانطلاق من 5 إلى 6 ثوان

شكل 1 : بساط الأرقومتر المتحرك للجري (Jaskoslka et al. 1999)



فحسب (Jaskolska et al., 1999b; Jaskolska et al., 1999a, Lakomy 1987) ان السرعة التي تنتج عن القوة تحسب بقياس سرعة الشريط، وافتراضا من أن الوضع الأفقي ثابت من مركز ثقل هذا العداء. ومن مبدأ عمل- رد فعل نيوتن، ولدت قوة أفقية على مستوى الأرض، والتي يمكننا قياسها بطريقة غير مباشر من قبل مكون القوة الأفقي الذي يحمل العداء، ان أول علاقة يمكن الحصول عليها خلال سباق الجري هي قوة (استطاعة) - سرعة.

هذه العلاقة بين القوة واستطاعة- السرعة فهي وبشكل متعاقب خطية ومكافئة، فكلها مماثلة لتلك التي نتجت عند عمل الدواسات.

(Komi, 2003) وأفادت هذه الدراسات الرئيسية قيمتين Pmax حوالي 1000 واط . ومن المهم أن نلاحظ بأن عملية الجري على القدمين، عكس الدواسات، بحيث تكون حركة العضلات مركزة على الكونسونتريك فقط، بحيث تكون دورة تمتد - تقلص - قفز، وخاصة عند التعاقب السريع لحركات الاكسونتريك والكونسونتريك للعضلات الباسطة للقدم.

الدورة تمدد - قفز يسمح، وعلى أساس ظواهر ميكانيكية من تخزين الطاقة المرنة وبعض والآليات العصبية - العضلية، يتم توسيع العمل الميكانيكية والذي تنتج أثناء مرحلة التمدد. هذه الميزة الميكانيكية أثناء مرحلة التمدد للأطراف السفلية يجب أن تؤثر على علاقة القوة و(الاستطاعة) - سرعة والمحصلة من الجري على القدمين (CAVAGNA وآخرون.1971).

3. 3. تقييم لحركة وحيدة

(Bosco et al., 1995; Rahmani et al., 2001; Rahmani et al., 2004)، ان استعمال حركة وحيدة يعني استعمال تمديدة وحيدة للأطراف السفلية في نفس اتجاه انتاج القوة وهذا يتيح تجنب التأثير السلبي للطابع الدوري وهذا ما ادى الى اساءة تقييم القوة المنتجة. هذه الحركات الوحيدة تكون عادة منجزة في الإتجاه العمودي اين يتم تحريك مركز الثقل جسم الرياضي نحو الأعلى مع او بدون الأثقال الإضافية، هذه الحركة عادة ما تسمى بالقفز العمودي « squat jump »

وهذا عندما يكون الدفع متبوع بمرحلة الطيران، وتسمى بالقرفصاء squat عندما لا يكون هناك إقلاع، مع العلم ان القفز العمودي يستعمل بصفة واسعة لتقييم القدرات الانفجارية للرياضي.

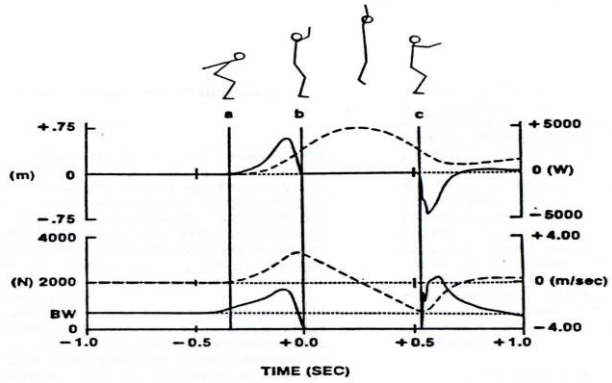
دراسات قليلة بينت العلاقة بين (القوة- سرعة) و(الاستطاعة – السرعة) في هذا النوع من الحركات ما عدى دراستي "بوسكو ورحماني" اللذين وصفا هذه العلاقة على التوالي بالشكل الخطي والمقعر.

خلافا للإختبارات التي اجريت على الجري وتدوير العجلة (الدواسة)، هذه العلاقة بين (القوة- سرعة) و(الاستطاعة – السرعة) تصف القدرات الميكانيكية لكلا من الطرفين السفليين وهذا عندما تعمل معا. هناك وسائل مختلفة تقيس القوة المنتجة وسرعة تمدد الأطراف السفلية والطاقة الميكانيكية اثناء مرحلة الدفع العمودي.

(Marey et Demeny, 1885) في أواخر القرن التاسع عشر درس العالمان ' اتيان ميري وجورج دامني Etienne-Jules Marey et Georges Demeny " القفز العمودي عن طريق التحليل السينمائي ومخطط قوة التقلص العضلي dynamographe وهذه الطريقة في حد ذاتها تعتبر أصل جهاز" منصة القوة " (Bosco et Komi, 1979b; Ferretti et al., 1987; Harman et al., 1991; Driss et al., 2001; Rahmani et al., 2001)، كان الهدف الأساسي من هذه الاكتشافات هو فهم ميكانيزمات القفز اكثر منه تقييم أداء الرياضيين ووضع في الواجهة الإشارات الأولى للقوة العمودية المنتجة من طرف الأطراف السفلية على الأرض وهذا اثناء عملية الدفع خلال القفز.

ان القوة المقاسة هي قوة رد فعل الأرض (من حيث الشدة والإتجاه) وهي تعادل القوة المطبقة من طرف الأطراف السفلية على الأرض لكن في إتجاه معاكس، ومنذ ذلك الوقت بقيت منصة للقوة الوسيلة المخبرية الأكثر استعمالا لقياس القوة المطبقة على الأرض من جهة ومن جهة أخرى تكميم التسارع وسرعة التنقل العمودي لمركز ثقل الرياضي في كل مرحلة من مراحل الدفع الشكل رقم (2) او الإرتكاز اثناء المشي او الجري (Cavagna, 1975)، مع التأكيد على ان السرعة العمودية لمركز ثقل الجسم أثناء القفز العمودي مبرر على سرعة تمدد الأطراف السفلية. فالبيانات المتحصل عليها من خلال القوة والسرعة العمودية تتيح الحصول على الطاقة العمودية المنتجة من طرف الأطراف السفلية .

شكل 2 : تطور في قفزة (squat jump) للقوة العمودية (الخط المستمر في الأسفل)، والسرعة العمودية من مركز الكتلة (الخط المتقطع في الأسفل)، و الاستطاعة (الخط المستمر في الأعلى) والانتقال العمودي لمركز الكتلة (الخط المتقطع في الأعلى). (Harman et al., 1991)



وكما هو الحال في كل مرحلة من عملية الدفع اي في كل عملية دفع يقابل هذا قيمة للقوة وقيمة للسرعة وقيمة الاستطاعة، ويمكن ان نحصل على العلاقة الموجودة بين القوة والاستطاعة- سرعة من خلال تنفيذ العديد من القفزات بأحمال مختلفة. على عكس الحركات أثناء تدوير العجلة (الدواسة) او الجري، فان القوة المقاسة عن طريق منصة للقوة (مركبة القوة العمودية) تتوافق تقريبا مع القوة المنتجة

من طرف الأطراف السفلية (مركبات القوة الأفقية تكون ضعيفة جدا).

هناك العديد من وسائل القياس، اقل تكلفة من منصة للقوة وسهلة التكييف مع الآلات الموجودة في قاعات التقوية العضلية حيث تم تطويرها فيما بعد من اجل قياس القوة، السرعة، الطاقة خلال انجاز تمارين القرفصاء والقفز.

(Rahmani et al., 1998 ; Rahmani et al., 2000) في سنة 1995 إقترح " بوسكو squats squats" قياس هذه المعيير (القوة، السرعة، الطاقة) فقط عن طريق انتقال زخم الكتلة (كتلة الرياضي، و/ او الكتلة الإضافية المحتملة) والمتحصل عليها بالترميز البصري المزود بمفاتيح الأشعة تحت الحمراء، هذه الطريقة الحركية، والتي تم التحقق من صحة في وقت لاحق من طرف ' Rahmani " والذي بمقارنتها مع منصة القوة. تتضمن هذه الطريقة تحويل من خلال مرتين إشارة التنقل المتعلقة بالوقت وهذا للتحصل على تسارع كتلة والتي تنتج عن هذه الأخيرة القوة الكاملة المنتجة.

و اعتمادا على هذه الطريقة ظهرت فيما بعد اجهزة اخرى تعتمد على تنقل الإشارة الخطي لثقل حر حسب (Cormie et al., 2007b; Cormie et al., 2007a) او موجه حسب (Harris et al., 2007).

(Dugan et al., 2004; Cormie et al., 2007d; Sheppard et al., 2008) كان هدف هذه الدراسات الأخيرة هو تحديد القوة القصوى والتي تسمح بتعظيم الطاقة المنتجة من طرف الرياضيين خلال الدفع العمودي وهذا بغرض تحسين تدريب الرياضيين. (Rahmani et al., 2001; Cormie et al., 2007d; Markovic et Jaric, 2007)، وعلى الرغم من انه لم ينوه للعلاقة النموذجية بين القوة (والاستطاعة - السرعة) والعلاقة بن الاستطاعة والثقل المدروسة تعبر عن مؤشرات غير مباشرة، ومن الضروري التأكيد على ان حركات الدفع الأفقي تدل على ثقل ادنى والتي تخص ثقل الرياضيين وهذا ما يمكن ان يتحول الى معضلة عند تحديد السرعة المثلى او الثقل الأمثل وهذا في حالة ما اذا تساوى هذا الأخير مع الكتلة الجسمية (Rahmani, 2000; Markovic et Jaric, 2007) وقد تم وضع أنظمة للتخفيف وهذا من اجل اختبار القفزات العمودية القصوى مقارنتا بالأثقال التي هي أقل من الكتلة الجسمية. (Bassey et Short, 1990; Zamparo et al., 1997; Zamparo et al., 2000; Macaluso et De Vito, 2003; Pearson et al., 2004; Yamauchi et al., 2007).

هناك انواع اخرى من الحركات والتي يمكن من خلالها الحد من قوة مقاومة وزن الجسم (حركة تمدد المائل)، او حتى الغائها (حركات التمدد الأفقية).

هذه الحركات استعملت ايضا لاختبار القدرات الميكانيكية للأطراف السفلية وهذا باستعمال انواع مختلفة من عجلات قياس القوة والسرعة والطاقة خلال مرحلة الدفع .

وقد ساعدت بعض من هذه الأجهزة رسم العلاقة بين القوة والطاقة- السرعة سواء كان ذلك خلال الحركات الأفقية او العمودية، وهذه قيم الاستطاعة القصوى (Pmax) v0 وF0 السرعة الإبتدائية والقوة الإبتدائية (v0 et F0) مختلفة جدا وهذا مقارنة بمستوى الرياضي الذي يمكن اختباره كما تختلف بين 700 و3500 واط (بين 15 و45 W.kg-1) وبين 1000 و3000 N بين (20 و50 (N.kg-1 وبين 2 و8 ..m.s-1 حركات التمدد الوحيدة تظهر بين حركات المتعددة المفاصل تسمح بالحصول على العلاقات بين القوة والاستطاعة – السرعة الأكثر اقترابا من الخصائص الميكانيكية العامة او الإجمالية للأطراف السفلى. في الواقع، هذه الحركات الفريدة أو الوحيدة هي أقل تأثرا بالمهارات او التأثيرات العصبية العضلية والناتجة عن الحركات الدورية والمتكررة للجري وتدوير العجلة، وهذا ما يسمح بالتقييم الحقيقي للقدرات الميكانيكية للأطراف السفلى بمعنى آخر يمكن لهذه الأطراف إنتاجه من الناحية الميكانيكية خلال مرحلة تمديد وحيدة.

القدرات الميكانيكية للأطراف السفلى تم دراستها على نطاق واسع من خلال تحديد العلاقة من بين القوة والاستطاعة- السرعة وهذا بفضل أجهزة قياس سمحت بتحديد وبصفة دقيقة القوة والسرعة وكذا الاستطاعة.

ان هذه الطرق الدقيقة للقياس ليست دائما متوافقة مع احتياجات المختصين أي ان تقييم هذه القدرات الميكانيكية خلال عملية التدريب وفي مختلف الاختصاصات تهتم أساسا بالمدربين والمحضرين البدنيين والذين يبحثون عن طرق بسيطة وسريعة ورخيصة وتستعمل داخل الملعب

3. 4. تقييم لحركة متعددة المفاصل

إن ربط بيانات القوة والسرعة حسب (Best et Partridge, 1928) تظهر ان القوة القصوى التي تطبقها الاطراف السفلية على الارض تنخفض عندما تبدأ السرعة في الارتفاع، هذا الانخفاض يكون خطي، هذا ما تم تأكيده عند أداء عدة حركات متعددة المفاصل (pluri-articulaire)، أي عند أداء حركة القفز بالأطراف السفلية في شروط حركة(isocinétique) (McCartney et al., 1983b; Wilson et al., 1997)، أو لحركة (isoinertielles) (Bosco et al., 1995; Seck et al., 1995; Hautier et al., 1996; Hintzy et al., 1999; Rahmani et al., 2001)

من الملاحظ أن الدراسات المطبقة على تحريك دواسات الدراجة الهوائية، أو بعض الحركات الدورية (cyclique) تظهر ان العلاقة قوة (استطاعة)-سرعة، تصبح علاقة قوة(استطاعة) -تردد (fréquence). ان انخفاض القوة مع السرعة (أي القوة القصوى المطبقة بسرعة مثالية) يظهر بان سلوك الجهاز العضلي للأطراف السفلية (جميع العضلات) أثناء المجهودات القصوى، تحدده الخصوصيات الداخلية للعضلات المحرضة (المحفزة). هذه النتائج اعتمدت على العلاقة الموجودة بين نوع الالياف العضلية وقيم التردد المثالي والاستطاعة القصوى التي تم قياسها اثناء تحريك دواسات الدراجة الهوائية.

ومع ذلك فان اختلاف في اشكال هذه العلاقات توجد بين الاطراف السفلية والعضلات (خطية العلاقة بين: القوة – سرعة، وتناظر العلاقة بين: استطاعة – سرعة) وترجع بصفة اساسية الى الخاصية الكلية لهذه العلاقات.

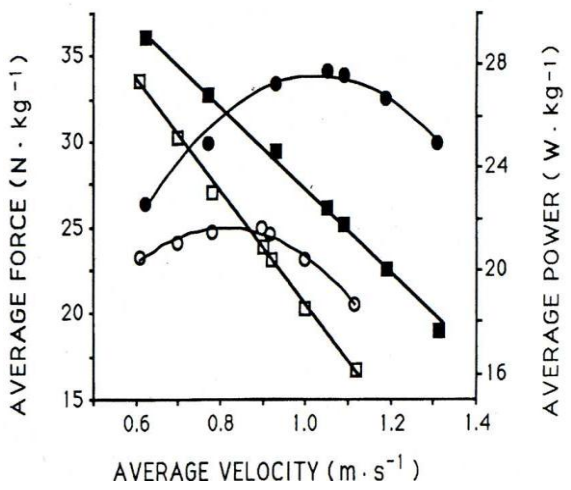
(Herzog, 2000) إن دراسة العلاقة " قوة – سرعة" اثناء اداء قفزة بالأطراف السفلية ليست نفسها بالنسبة لعضلة معزولة، وإنما لجميع عضلات الاطراف السفلية.

إن الخصوصيات الميكانيكية الكلية للأطراف السفلية هي امتزاج الخصوصيات لمختلف المجموعات العضلية. بالإضافة الى ذلك هناك عدة عوامل تتدخل في الحركة المتعددة المفاصل، مثل التنسيق بين مختلف المجموعات العضلية، هذه الاخيرة تؤثر بفضل خصوصياتها الميكانيكية على المفاصل التي تتحكم بها وعلى دورها في انتاج العمل أو الحركة، وأيضا اثناء اداء الحركة متعددة المفاصل، فان القدرة على العمل بشدة عالية (انتاج استطاعة قصوى) يحصل عند تحسين الجهاز كله وبصفة مثالية. ومنه فان تحسين الجهاز كله بصفة مثالية لا يرجع الى تحسين عمل كل عضلة على حده.

(Bobbert, 2001; Bojsen-Moller et al., 2005) نستطيع ان نقول ان الدراسات التي اجريت على الحركات متعددة المفاصل ترجع تحليل خصوصيات الجهاز العضلي بصفة كلية وليس الى دراسة خصوصيات كل عضلة على حدة. يمكن الاضافة الى أن الخصوصيات البنيوية لتمدد العضلات (الأوتار، الاربطة) يمكنها ان تؤثر ايضا على القدرة الميكانيكية الكلية للقوة و/ أو السرعة.

حسب (Yamauchi et Ishii, 2007) العلاقات بين القوة (استطاعة)-سرعة تعتبر اذن القدرة الميكانيكية الكلية للأطراف السفلية والتي تعمل كمولد للقوة المتكاملة مع الاخذ بعين الاعتبار الامكانيات والاستعدادات الميكانيكية للمحرك البيولوجي للفرد.

شكل 3 : العلاقة بين القوة-السرعة (مربعات)، والاستطاعة-السرعة(دوائر) المطبقة على امرأة (ممثلة بالأبيض) والمطبقة على الرجل (ممثلة بالأسود)، عند تمارين " 1/2 squats" (Bosco et al., 1995)



فان الخصوصيات الميكانيكية للعضلات الهيكلية المسئولة عن انتاج القوة، أي حركة الانسان، ترجع الى العلاقات بين القوة المنتجة وسرعة الحركة وبين الاستطاعة المنتجة والسرعة.

أي هناك اربع خصوصيات تلخص القدرة الميكانيكية للأطراف السفلية :

- القوة القصوى للأطراف السفلية .
- السرعة القصوى للانطلاق .
- الاستطاعة القصوى والسرعة المثالية لها

4. تقييم القدرات الميكانيكية للأطراف السفلية بواسطة طرق معملية

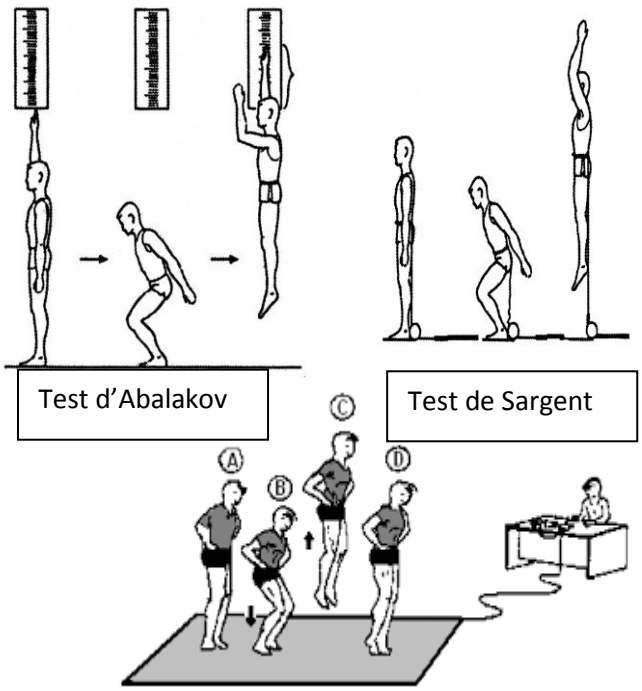
1.4. التفوق في القفز العمودي

هناك عدة اختبارات ميدانية اقترحت لقياس الاستطاعة القصوى بطريقة بسيطة، ومن بين الأكثر تداولا "صعود الدرج" لـ (Margaria et al., 1966)، بحيث يبقى القفز العمودي الحركة الأكثر استعمالا لاختبار الاستطاعة الانفجارية للأطراف السفلية، وبعيدا عن بساطة استعماله، يعتبر القفز العمودي من بين الحركات الأكثر انفجارية وهذا راجع الى قصر وقت الجهد المبذول أثناء هذه الحركة (<0,5ثا)، والى شدته العالية، ان اختبار القفز العمودي يعتمد على رفع مركز الكتلة (مركز الثقل) الى أعلى ارتفاع ممكن وذلك بالارتقاء بواسطة الأطراف السفلية. عندما يكون الجهد المبذول بصفة قصوى، فان الاستطاعة المنتجة أو المطبقة أثناء الدفع هي غالبا تمثل القدرة القصوى للفرد.

(Sergent, 1921) اقترح أول طريقة ميدانية لتحديد هذا الانتقال العمودي لمركز الثقل وذلك بالفرق بين أعلى نقطة لأصابع اليدين المستقيمين أثناء القفزة و أعلى نقطة لأصابع اليدين المستقيمين من وضعية الوقوف (الشكل رقم 04)، كما اعتبرها أيضا كمحدد للاستطاعة العضلية (Sargent, 1924). بعد ذلك ظهرت عدة طرق منهجية بسيطة مقترحة لتحديد الانتقال العمودي لمركز الكتلة، وذلك من خلال شريط ثبت على الجسم لاختبار (test d'Abalakov)، أو بقياس الوقت المستغرق في الهواء (test de Bosco)، ان قياس الوقت المستغرق في الهواء أثناء القفز العمودي أصبح سهلا وذلك من خلال استعمال "بساط" "tapis " مزود بساعة توقيت مثل (Ergojump, Bosco, 1992)، أو من خلال الخلايا الضوئية "cellules photoélectriques" على مستوى الأرض (Optojump)، وهو سهل الحمل والاستعمال. هناك عدة طرق للقفز العمودي كل واحدة لها طريقة تنفيذ مختلفة:

- الانطلاق من وضعية الراحة مع ثني الأطراف السفلية (squat jump).
- الانطلاق من وضعية الوقوف مع عكس حركة الاتجاه الى الأسفل (movement jump counter).
- الانطلاق من وضعية مرتفعة على الأرض (drop jump).
- أو مجموعة ترددات لمدة محددة بين (5 الى 60ثا).

شكل 4 : مختلف الاختبارات لقياس ارتفاع القفز معدلة من طرف (Rahmani, 2000)



حسب (Vandewalle et al., 1987) هذه الاختبارات تحرض أجزاء عضلية مختلفة، أما اختبار (squat jump) فهو الوحيد الذي يسمح بقياس القدرات الانقباضية للعضلات. بمعنى أن لياقة الأطراف السفلية وقدرتها على توليد القوة لإنشاء حركة انطلاقا من وضعية الراحة، لكن رغم أن علو القفزة جد مرتبط مع الاستطاعة المنتجة أو المطبقة أثناء الدفع (Davies et Young,1984)، وتبقى أن لديها البعد الميكانيكي (وزن الجسم مضروب في الانتقال) وليس بالاستطاعة مثل ما هو مقترح من طرف (L.W. Sargent).

5. مؤشر الاستطاعة العضلية

عند تحليل البيوميكانيكي لعداء المسافات النصف طويلة والطويلة، يمكن تقسيم خطواته الى فترات ارتكاز على الأرض مقطوعة بفترة قفز. فالامتصاص يبدأ من لحظة بداية وضع القدم على الأرض. وتدعى بالفترة الكابحة، فالقوة المطبقة على القدم هي عكس اتجاه الحركة. وهي الفترة المثالية لتخزين الطاقة المرنة.

1.5. الطاقة المرنة

(Alexander, 1991) ان عضلات الرياضي التي تنتج جزءا من القوة اللازمة انطلاقا من نفس الحركة، وهذا ما نسميه الطاقة المرنة. فالمصدر الأول لإنتاج الطاقة هو تلك العملية التي تدعوا الى القيام بآليات الأيض الغذائي. أما المصدر الثاني للطاقة الميكانيكية، هي تلك التي يطلق عليها اسم (الطاقة المجانية)، فهي لا تتطلب استخدام مواد عضوية، بل تستخدم الطاقة المرنة، لذا يمكن استرجاع الطاقة الحركية المخزنة من البنية الجسمية المرنة.

في الوقت الذي توضع فيه القدم على الأرض، تخضع الأطراف المرنة في الجسم (الأوتار، والألياف الرباطية (aponévroses) هي الأكثر مشاركة) الى تغير من الناحية الطولية، والذي يشبه تمدد الشريط المطاطي. فعندما يتم الغاء القوة المطبقة، فان هذه البنيات الهيكلية المرنة لديها القدرة على استعادة الطاقة المخزنة بواسطة عملية تقلص عضلي. ومنه يمكن الحد من تكلفة الطاقة في انتاج القوة من قبل هذه الآلية.

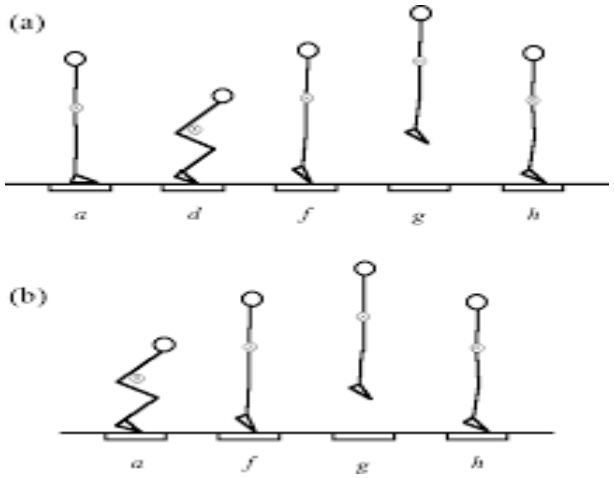
على مستوى مفصلي الركبة والحوض فاحتمالات الحركة محدودة، على هذا المستوى فان توترات المجموعات العضلية لرباعيات الفخذ والورك، يمر عبر الغلق المفصلي بتمديد هذه المفاصل. وتجدر الاشارة الى أن هذه الالية تعتمد على صفات عضلية محددة. وبالتالي يجب أن يحترم التدرج في التدريب عند هذه الخاصية العضلية وذلك للسماح للهياكل العضلية على النمو والتكيف.

2.5. الفرق بين "CMJ" و"SJ"

(Bosco) الفرق بين نتائج الاختبارين "CMJ" و"SJ" يعطي فكرة واضحة عن نوعية الاستطاعة عند الرياضي.

كما يمكن تفسير الارتفاع الكبير لقفزة "CMJ" مقارنة مع"SJ"، وهو في الحالة النشطة لـ"CMJ" تولد خلال المرحلة التحضيرية المعاكسة للحركة، في حين تولد الحالة النشطة لـ"SJ" أثناء مرحلة الدفع، بحيث أن العضلات تنتج المزيد من القوة خلال تقلص "CMJ".

شكل 5 :عنوان



الفرق بين الاختبارين (a) و(b) في الشكل رقم (05) يعطي فكرة على نوعية الاستطاعة عند الرياضي. في واقع الأمر أن هناك العديد من الرياضيين الممارسين الذين يملكون فرق ضعيف أو حتى معدوم بين هاذين الاختبارين، وهذا ما يمثل صعوبة في التعبير عن القوة وأخذ وقت أكبر.

ان مؤشر الاستطاعة للمنطقة السفلية للجسم (CMJ-SJ):

- تعطي معلومات حول خصائص الغير بليومترية.
- هناك معدل فرق من 2 الى 7سم بين نتائج الاختبارين.
- كلما كان الفرق صغير كل ما كانت القوة الانفجارية للرياضي معبرة في وقت قصير

3.5. مفهوم الطاقة المرنة

تعمل العضلات والأوتار كوحدة وظيفية ترتبط عناصرها هيكليا وميكانيكيًا. فقد وصف ليوناردو دا فينشي في كتاب علم التشريح بأن الأوتار هي "أدوات ميكانيكية تنتج الكثير من العمل الذي يوكل اليها ". ومع ذلك، منذ نهاية القرن التاسع عشر، تم إهمال الأنسجة الوترية من قبل علماء الفيزيولوجيا الذين فضلوا الدراسات على الجهاز العضلي أو الهيكل العظمي. لطالما اعتبرت العضلات العنصر الرئيسي الذي يسمح للبشر بالتحرك والتحكم في نمط الحركة على مستوى بيئتهم. ومع ذلك، فإن العضلات لا يمكن أن تستقر في وضع أو إنتاج حركة دون مساعدة الأنسجة الوترية. فهي تشكل كيانا يمكن أن يشار إليه باسم المجمع العضلي-الوتري. ولضمان وظائفه، يتكون مركب الأوتار العضلي من العناصر الانكماشية والمرنة (جاسر وهيل، 1924). فمرونة الوحدة العضلية هي واحدة من الخصائص الميكانيكية الأساسية للأداء العضلي أثناء صيانة الوضع والحركة البشرية. وبالفعل، فإن مجمع muscletendon لديه القدرة على لاستعادة الطاقة المرنة المحتملة التي خزنها سابقا (جاسر والتل 1924، Cavagna وآخرون، 1964، Cavagna 1977). تعتمد هذه القدرة على إعادة تخزين الطاقة المرنة لمركب العضلات والأوتار على صلابة البنية.

وهو يسمح للإنسان أن يكون أكثر كفاءة وأكثر اقتصادا في إنتاج القوة أثناء الحركات الوظيفية (.Cavagna et al، 1964، Alexander and Bennet-Clark، 1977، Cavagna، 1977، Bosco et al.، 1982).

كان ماري وديمنى (1885) أول من لاحظ أن ارتفاع القفزات قد تحسن عندما سبقت حركة التقلص من خلال تمدد الهياكل العضلية المتضمنة. بعد ذلك (Asmussen و1974) Bonde-Petersen أكدت هذه النتيجة علمياً من خلال إظهار أهمية تخزين الطاقة المرنة في العضلات المتقلصة بخطى معتدلة لزيادة إجمالي العمل الناتج أثناء القفزات. وستلعب مرونة الأوتار العضلية دورًا أيضًا في استراتيجيات التحكم في المحركات (Rack and Westbury 1984، Roberts and Azizi 2011)

ومن ثم فإن تحديد العناصر المرنة لمركب العضلات والأوتار، وتوصيف خصائصه المرنة وتحديد الآليات الأساسية، أمر ضروري لفهم دور هذه المرونة العضلية في الحركة البشرية بشكل أفضل. أصبحت التفاعلات الديناميكية بين الهياكل المرنة المختلفة التي تشكل عقدة الأوتار العضلية تحت ظروف الكائنات الحية مؤخرًا وجهة نظر جديدة للتحقيق بفضل الموجات فوق الصوتية. وقد أظهرت الدراسات الحديثة في البشر أن الأنسجة الوترية تلعب دوراً هاماً في أداء عقدة الأوتار العضلية في المشي، الجري والقفز على الإيماءات الوظيفية (كوروكاوا وآخرون، 2001، فيني وآخرون، 2003). Ishikawa et al.، 2004، Ishikawa et al.، 2007، Lichtwark et al.، 2007، Cronin et al.، 2011). في الواقع، فإن العضلات على الاتساع الصغيرة (الانكماش شبه متساوي القياس) خلال هذه الحركات في حين أن الهياكل الوترية تخضع لتغيرات أطول، وبالتالي استخدام قدرتها على استعادة التخزين من الطاقة المرنة. تسمح هذه الآلية للعضلات بتوليد القوة مع الحد الأدنى من التقصير، والحد من العمل الذي تنتجه بالإضافة الى الطاقة المنفقة (Fenn، 1924). يسمح عمل أنسجة الوتر للعضلة بتوليد القوة بمعدل منخفض من التقلص وبالتالي تقليل عدد الألياف العضلية المعينة اللازمة لإنتاج قوة (.Roberts et al،

1997، .Gabaldon et al، 2008). هذه الآلية تدفع إلى انخفاض في التكلفة الأيضية للنشاط العضلي. لذلك تلعب الأنسجة الوترية دورًا حيويًا في إعادة تخزين الطاقة المرنة، مما يقلل من الطاقة التي تنفقها العضلات، ويعوض القدرة الانقلابية المحدودة للعضلة، وبالتالي يزيد من القوة التي طورها مجمع العضلي-الوتري. من ناحية أخرى، وعلى عكس ما كان يعتقد منذ فترة طويلة، فإن الوتر لديه مرونة وظيفية، مما يسمح له بتحسين دوره داخل عقدة الأوتار العضلية (Bohm et al.، 2015)

4.5. الدليل على وجود الطاقة المرنة عند القفز لدى قدم الفقاريات

ان عملية القفز هي واحدة من بين أقوى التسارعات لحركة الفقريات. فالافتراض الأقرب الى الواقع هو أن العديد منها تستخدم الية تشبه المنجنيق لتخزين الطاقة المرنة وتحريرها بسرعة، لإنتاج استطاعة على شكل حركة انفجارية أكبر من قدرة العضلة.

فقد لوحظت هذه الظاهرة في التغير في طول العضلات وحركة المفاصل لقدم الضفدع أثناء القفز وذلك باستعمال الأشعة السينية السينمائية للنظائر (X-ray fluoroscopie)، كما أثبت أن الوتر يمدد عند عملية التخزين والمطبقة من طرف التقلص العضلي. هذه الأخيرة تتبع بمرحلة تسارع زاوي عالي لتقلص عضلي مفصلي صغير. مما يدل على المساهمة الكبيرة للوتر في الشد لتمديد الكاحل. تتقلص مجموعة العضلات عند كل القفزات بمعدل 7,8%، حيث تتغير العضلة بنسبة 54%، ويتمدد الوتر قبل حركة المفاصل. ان الحركة المفصلية الأساسية هي تسارع قوي لعدة زوايا مشتركة لحركة واحدة، وبتغييرات بسيطة لمجموعة العضلات المشاركة، وذلك بالتوافق مع تراجع الوتر المرن. وتدعم هذه المعطيات أن الوتر الأخمصي هو مكان تخزين الطاقة المرنة أثناء قفزة الضفدع، كما أثبت (Henry C. Astley, Thomas J. Roberts, 2011) أن آليات المنجنيق يمكن استخدامها حتى عند القفزات ذات حمولة تحت القصوى

حسب (Aboodarda SJ, Yusof A, et al,. 2013) ان استخدام قوة السحب أثناء فترة النزول الى الأسفل لمرحلة القفز CMJ ترفع من (VGRF) القصوى للكونسونتريك بقيمة 6,34%، الاستطاعة المنتجة 23,21%، الدفع (النبض) المحض 16,65%، وارتفاع القفز 9,52%. كما أوضح أن استعمال القوة عند النزول الى الأسفل بطريقة مرنة وذلك عند المرحلة الاكسونتريك لقفزة CMJ قد تكون طريقة جد فعالة لتطوير قدرات القفز وذلك بتطبيق حمولات جد كبيرة للاكسونتريك على مُركبات مرنة متوازية ومتسلسلة، بالإضافة الى تحرير الطاقة المرنة المخزنة.

5. خاتمة

ان التقييم الحقيقي للقدرات الميكانيكية للأطراف السفلية وذلك من خلال مرحلة تمدد - تقلص، يجب حصرها في نطاق واضح من خلال تحديد العلاقة من بين القوة والاستطاعة-السرعة وهذا بفضل أجهزة قياس تسمح بتحديدي وبصفة دقيقة القوة والسرعة وكذا الاستطاعة. حيث ان صلابة العضلات ممثلة في استطاعة الجسم، والتي تعطي مقاومة على تشوه العضلة (تمدد، التواء، الانضغاط) القوة المرنة هي قوة تسمح للجسم بالرجوع الى حالته الأصلية (بالنسبة للطول بعد التمدد، الشكل المتجانس بعد الالتواء). كما ان العضلات تعمل كمحولات للطاقة الكيميائية في العمل الميكانيكي.

- عن طريق تحويل الطاقة الحركية للجسم إلى طاقة محتملة والعكس
- عن طريق نقل الطاقة بين قطاعات الأعضاء
- عن طريق استعادة الطاقة المرنة المخزنة خلال مراحل تمدد العضلات.

كل هذه الآليات تقلل تكلفة الطاقة إلى مستوى أدنى مما ستكون عليه في غيابها. لذا فان تقييم هذه القدرات الميكانيكية خلال عملية التدريب وفي مختلف الاختصاصات تهم أساسا المدربين والمحضرين البدنيين والذين يبحثون عن طرق بسيطة وسريعة ورخيصة تساعدهم داخل الملعب.

- المصادر والمراجع:

-Aboodarda SJ, Yusof A, Abu Osman NA, Thompson MW, Mokhtar AH,. (2013), Enhanced performance with elastic resistance during the eccentric phase of a countermovement jump,US National Library of Medicine National Institutes of Health.;8(2):181-7.

-Alexander RM. (1991). Energy saving mechanism in walking and running. J.Exp Biol. 160, 55-69.

-Neptune, R. R., Kautz, S. A. and Hull, M. L. (1997). The effect of pedaling rate on coordination in cycling. J. Biomech. 30(10), 1051-1058.
-Pierre Samozino. (2010). Capacités mécaniques des membres inferieurs et mouvements explosifs. Approches théoriques intégratives appliquées au saut vertical., Université Jean Monnet Saint-Etienne, Thèse de Doctorat. P36
-Rahmani, A. (2000). Mesure de la force musculaire à partir de l'accélération appliquée à une charge. Relation force-vitesse dans des conditions ballistiques. Thèse de doctorat. Lyon: Université Claude Bernard.
-Rahmani, A., Locatelli, E. and Lacour, J. R. (2004). Differences in morphology and force/velocity relationship between Senegalese and Italian sprinters. Eur. J. Appl. Physiol. 91(4), 399-405.
-Rahmani, A., Viale, F., Dalleau, G. and Lacour, J. R. (2001). Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. Eur. J. Appl. Physiol. 84(3), 227-232.
-Sheppard, J., Cormack, S., Taylor, K., McGuigan, M. and Newton, R. (2008). Assessing the Force-Velocity Characteristics of the Leg Extensors in Well-Trained Athletes: The Incremental Load Power Profile. J. Strength. Cond. Res, 22(4) 1320-1326.
-Wilson, G. J., Walshe, A. D. and Fisher, M. R. (1997). The development of an isokinetic squat device: reliability and relationship to functional performance. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 75(5), 455-461.
-Yamauchi, J. and Ishii, N. (2007). Relations between force-velocity characteristics of the kneehip extension movement and vertical jump performance. J. Strength. Cond. Res. 21(3), 703-709.
-Yamauchi, J., Mishima, C., Fujiwara, M., Nakayama, S. and Ishii, N. (2007). Steady-state force-velocity relation in human multi-joint movement determined with force clamp analysis. *J. Biomech.* 40(7), 1433-1442.
-Arsac, L. M., Belli, A. and Lacour, J. R. (1996). Muscle function during brief maximal exercise: accurate measurements on a friction-loaded cycle ergometer. Eur. J. Appl. Physiol. 74, 100-106
-Bojsen-Moller, J., Magnusson, S. P., Rasmussen, L. R., Kjaer, M. and Aagaard, P. (2005). Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. J. Appl. Physiol. 99, 986-994.
-Daoud Geissler GJ., Wang F., Saretsky J., Douad YA. & Lieberman DE. (2012). Foot strike and injury rates in endurance runners: A retrospective study. Med Sci Sports Exerc . 44(7):1325-1334.
-G .cometti, « les méthodes de musculation », UFR STAPS Dijon, 2004, p39 .
-Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N., Rosenstein, R. M. and Kraemer, W. J. (1991). Estimation of Human Power Output from Vertical Jump. Journal of Strength and Conditioning Research 5(3), 116-120.
-Astley Henry C. and Roberts Thomas J (2012) Evidence for a vertebrate catapult: elastic energy storage in the plantaris tendon during frog jumping, Biol. Lett. 8(3) 386-389.
-Herzog, W. (2000). Muscle properties and coordination during voluntary movement. J. Sports Sci. 18(3), 141-152.
-Jaskolska, A., Goossens, P., Veenstra, B., Jaskolski, A. and Skinner, J. S. (1998). Treadmill measurement of the force-velocity relationship and power output in subjects with different maximal running velocities. Sports Med. Training and Rehab. 8(4), 347-358.
-Komi, P. V. (2003). Stretch-shortening cycle. In Strength and power in sport, (ed. P. V. Komi), pp. 184-199: Wiley-Blackwell.
-Lehance C, Croisier JL, Bury T (2005) Optojump system efficiency in the assessment of lower limbs explosive strength. Sci Sports 20, P 131–135
-Linossier, M. T., Dormois, D., Fouquet, R., Geyssant, A. and Denis, C. (1996). Use of the force-velocity test to determine the optimal braking force for a sprint exercise on a friction loaded cycle ergometer. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 74, 420-427.
-Maarten, F. Bobbert And L. J. Richard Casius. (2005) "Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development?" .Applied Sciences Biodynamics. Institute For Fundamental And Clinical Human Movement Sciences, Vrije Universities, Amsterdam, The Netherlands. Med. Sci. Sports Exerc.,Vol. 37, No. 3, Pp. 440–446
-Markovic, G. and Jaric, S. (2007). Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping. Med. Sci. Sports Exerc. 39, 1757-1764.