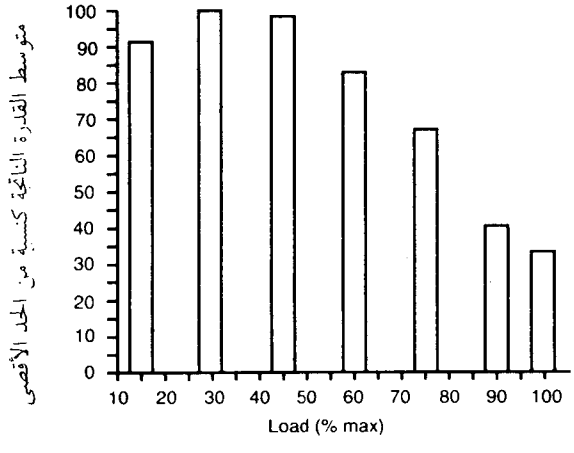
* **قوة كبيرة بسرعة منخفضة.**

* **سرعة عالية بقوة منخفضة.**

* **قيم متوسطة لكل من القوة والسرعة.**

والأسلوب الثالث هو أنسب الأساليب للوصول بالقدرة إلى الحد الأقصى، وقد أكدت ذلك عدة دراسات حيث يرى كل من **كانيكو** Kaneko ١٩٨٣ **وموريتانى** Moritani (١٩٨٧) أن أقصى قدرة تحدث عند حمل يصل إلى ما بين ٣٠٪ ـ ٤٥٪ من الحد الأقصى ويوضح ذلك شكل (١٠).



نسبة الحمل من الحد الأقصى

شكل (١٠) علاقة القدرة بالحمل فى العمل العضلى

ميكانيكية العضلة

إنتاج القوة:

تعمل العضلات الهيكلية كمصدر للقوة التى تنتقل من خلال أوتار العضلات إلى الجهاز الهيكلى فتدور أجزاؤه حول محاورها التى تعرف بالمفاصل، وهذا الميل للدوران يعرف بالعزم وهو ناتج القوة العضلية والمسافة العمودية بين خط عمل القوة ومحور الدوران وهو المفصل، وهو يعبر عن القوة العضلية للعضلة أو للمجموعة العضلية.

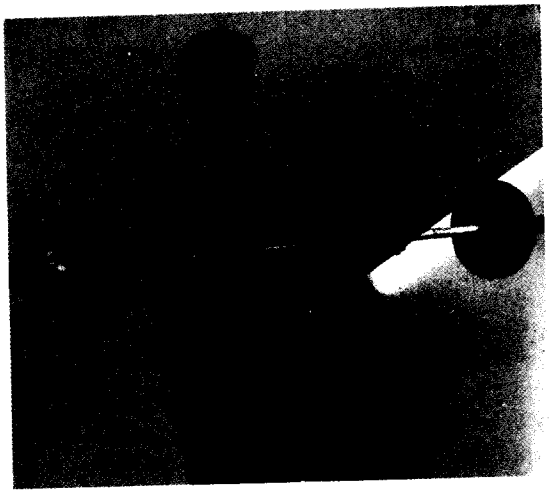
ويدخل فى حساب العزم العضلى زاوية الشد بين اندغام العضلة والمحور الطولى للعظمة. والزاوية المثالية للشد هى (٩٠°) وأى زيادة أو نقص فى مقدار هذه الزاوية يؤدى إلى نقص فى مقدار العزم العضلى وكذلك تختلف قدرة العضلة على إنتاج قوة باختلاف موضع العضلة، لذا فليس من المستغرب أن قيمة أقصى قوة يمكن أن تنتجها العضلة هى قيمة متغيرة على مدى حركة المفصل كما سبق إيضاحه فى شكل (٨).

والمسافة التى تندغم عليها العضلة بعيداً عن محور المفصل هى عملية وراثية إلى حد كبير ما بين الأفراد. لذا فإن الأفراد الذين يتمتعون بمسافة اندغام أكبر من المؤكد أن ناتج قوة انقباض عضلاتهم سوف يكون أكبر. لذا فإن هذه الخاصية مثلها مثل تناسب أطوال أجزاء الجسم ونسب تواجد الألياف العضلية بنوعيها والتى تعتبر من الخواص التى ليس للتدريب أى دور فى تغييرها.

تأثير المقاومة

يؤدى وزن أى جزء من أجزاء الجسم أو ما يضاف إليه من أحمال إلى حدوث عزم حول مفاصل الجسم، ويكون فى اتجاه مضاد للعزم الناتج عن الانقباض العضلى. وتنطبق على هذه الحالة نفس القواعد السابق الإشارة إليها من حيث أن مقدار العزم مرتبط بالمسافة العمودية بين نقطة التأثير ومحور المفصل. وبالتالى فإن العزم المقاوم هو قيمة متغيرة أيضا على مدى حركة المفصل.

فعلى سبيل المثال عند أداء التمرين الموضح فى شكل (١١) تصل أقصى قيمة للعزم الناتج عن الثقل نددما تكون زاوية المرفق (٩٠° تقريبا) حيث تكون المسافة العمودية بين الثقل ومحور المفصل أكبر ما يمكن أما إذا زادت الزاوية أو قلت عن ٩٠° فإن ذلك يعنى أن العزم الناتج يكون أقل لتناقص المسافة العمودية بين مكان الثقل ومحور المفصل.



شكل (١١) ثنى الزراعين من الوقوف باستخدام ثقل

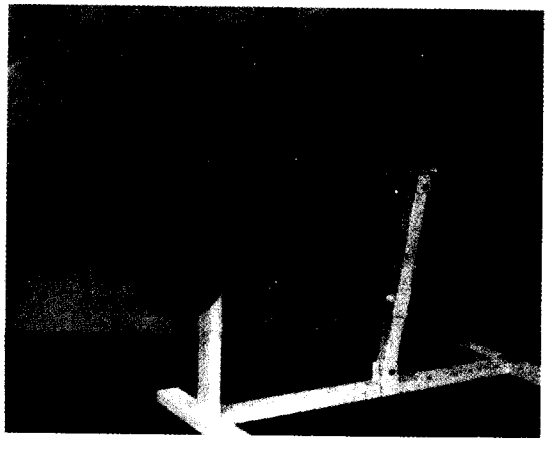
تأثير تغيير وضع الجسم على التحميل

يختلف تأثير الحمل المستخدم فى التدريب على المفصل باختلاف وضع الجسم أثناء أداء التمرين ففى أداء التمرين الموضح فى الشكل السابق فإن الحمل يصل إلى أقصى درجة تأثير عندما تصل زاوية المرفق إلى ٩٠° وينتاقص هذا التأثير بالإبتعاد عن هذه الزاوية وبالتالى فإن هذه الأوضاع التى يكون فيها تأثير الثقل منخفضا يمكن تغييرها من خلال تغيير وضع الجسم نفسه.

فإذا تم أداء التمرين السابق والجسم فى وضع أفقى كما هو موضح فى شكل (١٢) فإن ميكانيكية عمل الرافعة سوف تتغير بحيث يتزايد العزم المقاوم للثقل عند الجزء الأخير من حركة المفصل.

وهذا يفسر السبب فى استخدام لاعبى كمال الأجسام للتمرين الواحد فى أوضاع مختلفة، فمثل هذه الأوضاع تغير من وضع الرافعة فتضع العضلة تحت تأثير عزم المقاوم أكبر فى زوايا مختلفة على مدى حركة المفصل.

وهذا ما يـؤكد أيضا على أهـمية أداء تدريبـات الأثقال فى نفس الأوضـاع التى يتخذها اللاعب فى أداء مهارات لعبته.



شكل (١٢) ثنى الزراعين باستخدام ثقل من الانبطاح على مقعد

توزيع الألياف العضلية

يمثل توزيع الألياف العضلية بالنسبة لأوتار العـضلات أهميـة كبيـرة فى قدرة العضلة على إنتاج القوة، فـإذا ما كانت الألياف متخذة الاتجـاه الطولى بالنسبة للوتر فإن العضلة تكون قادرة على إنتاج قوة منخفضة نسبيا ولكن مدى الحركة يكون كبيراً. وهناك عدد قليل من هذه العـضلات التى يطلق عليهـا مصطلح العضلات المغـزلية، وهى موجودة فى الأطراف ومنها على سبيل المثال العضدية الغرابية.

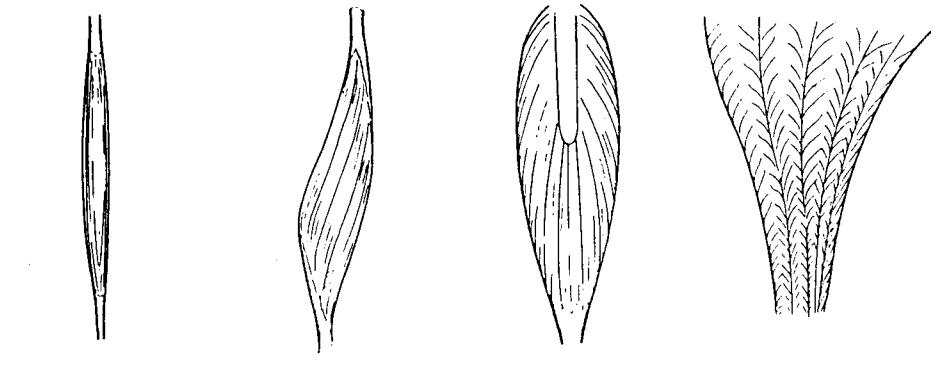
أما إذا كان اتجـاه الألياف يصنع زاوية بالنسبـة للوتر فهى تسمى عضـلات ريشية وهذه العضلات تنتج قدراً أكبر من القوة، ولـكن فى مدى حركى ضيق نسبيا. وهذا النوع من العضـلات يمثل حوالى ثـلاثة أرباع العضلات الهـيكلية حيث أن لهـا عدة أشكال منها

أحادية الريشة: وتكون فيهـا الألياف على جانب واحد من الوتر ومنـها العضلة النصف غشائية.

ثنائية الريشة: وتكون فيها الألياف على جانبى الوتر ومنها العضلة المستقيمة الفخذية.

متعددة الريشة: وتكون فيها الألياف على جانبى عدد من الأوتار داخل العضلة ومنها العضلة الدالية.

ويوضح شكل (١٣) نماذج من هذه التصنيفات وأسلوب توزيع الألياف واتجاهاتها بالنسبة لوتر العضلة.



الدالية	المستقيمة الفخذية	النصف عشائية	الجميلة
متعددة الريشة	ثنائية الريشة	إحادية الريشة	
الريشة			الغزلية

شكل (١٣) توزيع الألياف من حيث الشكل فى العضلات الهيكلية

تكيف الجهاز العصبى لتدريبات المقاومات

إن من أفضل الأمثلة التى يمكن تناولها لإيضاح تأثير تدريب المقاومات على تكيف الجهاز العصبى هو انتقال أثر التدريب من أحد أطراف الجسم إلى الطرف

المقابل، وهذا التكيف العصبى يمر بالعديد من العمليات المعقدة ومنها تحرر وتراخى الوحدات الحركية وتأثير التعلم.

التحرر: Disinhibition

يعمل الجهاز العصبى فى جميع الأحوال على إرسال ومضات عصبية تعمل على كبح الاستثارة، فإذا ما زادت موجات الاستثارة فيعنى ذلك أن الوحدة الحركية سوف تبدأ فى العمل أما إذا حدث العكس فسوف لا تثار الوحدة الحركية للبدء فى العمل. وخلال عمليات زيادة إنتاج القوة، فإن الجسم البشرى مصمم على أساس استخدام التغذية المرتدة لحماية العضلات من الإصابة، فعلى سبيل المثال تعمل أعضاء وترجولجى والمتواجدة داخل أوتار العضلات فى تسلسل تال للألياف العضلية بدرجة عالية من الحساسية لدرجة الشد أو التوتر التى تتعرض لها العضلة، فإذا ما انتجت العضلة مقداراً عاليا من القوة، فإن هذا الوتر يعمل على إرسال إشارات من شأنها كبح الوحدات الحركية وبالتالى منع تجنيد وحدات حركية جديدة. وإيقاف الوحدات المشاركة فعلاً عن الوصول إلى أقصى حد لها وبالتالى الحد من القوة الناتجة.

وبالتالى فإنه فى بعض الأحيان قد لا تستخدم القوة القصوى فى بعض الأنشطة بناء على حساسية هذا العضو (وترجولجى). مع استمرار رغبة الفرد فى إنتاج أقصى قوة فإن حساسية هذا العضو قد تتناقص إلى حد ما وهذا ما يطلق عليه «التحرر Disinhibition» ويسمح بالوصول بالقوة العضلية إلى أقرب ما يمكن من حدها الأقصى فقط.

ومن أهم الفوائد والمميزات التى يحققها تدريب الأثقال أو تدريب المقاومات بصفة عامة هى تخفيض مستوى إشارات الكبح التى تنتج عندما يزيد الشد أو التوتر العضلى بما يسمح بإمكان تجنيد عدد كبير من الوحدات الحركية وإمكان التأثير على هذه الوحدات بحيث تعمل بأعلى كفاءة ممكنة.

وبناء على ذلك فإنه يمكن القول أن لتدريب الأثقال أو تدريب المقاومات تأثيراً مباشرا على الجهاز العصبى بما يسمح بإمكان تنمية القوة القصوى دون حدوث تغيرات ملحوظة فى شكل العضلة وخاصة ما يطلق عليه بتضخم العضلات (Hypertrophy).

فاقد القوة Strength Deficit

إن الفرق بين القـوة الإرادية القصوى التـى ينتجهـا الجسم وما يمكن أن ينتـجه بالفعل من قـوة مطلقة هو ما يسمى بفـاقد القوة (**تيدو** Tidow ١٩٩٠) وأقصى قوة عضلية إراديـة يمكن حسابها من خـلال الانقباض الاتزومترى أو الثـابت فى حين أن القوة المطلقة يمكن التـعرف عليها من خلال انقبـاض بالتطويل ضد ١٥٠٪ من القوة الإرادية القصوى كمقاومـة وقد أكد تيدو أن هذا النقص أو الفاقد يصل إلى ٤٥٪ فى الأفراد غـير المدربـين فى حين أنهـا تصل إلى ٥٪ فقط فى الأفـراد المدربين ويرى أن ذلك يرجع بالدرجة الأولى إلى انخفاض مستوى الكبح مما يؤدى إلى إمكانية استخدام احتياطى القوة بكامله فى الانقباض.

ويلعب قيمة هذا التغير دورًا أساسـيًا فى اختيار نوع التدريب المناسب للأداء فإذا كانت قيمتـه عالية فإن ذلك يعنى أن الفرد لا يستخدم عضـلاته بأعلى كفاءة وبالتالى فإنه ينصح بأن يخضع هؤلاء الأفراد إلى تدريب عالى الشدة ما بين (٩٠ ـ ١٠٠) من الحد الأقـصى ومثل هذا النوع من التـدريب يؤدى إلى رفع مستـوى التحـرر وبالتالى سوف يسمـح بإمكان إطلاق حرية العضلات فى العـمل بأقصى طاقة لها، فـيتناقص بالتالى فاقد قوتهم.

أما إذا كانت قيمـة الفاقد قليلة، فإن تحقيق تحسن فى مسـتوى القوة العضلية لن يتأتى إلا من خـلال زيادة مقطع العضلـة، فنظريات تدريب كمال الأجـسام يجب أن تعـتمـد على هذا المفهـوم وذلك من خلال اسـتخـدام ما بين ٧٠ ـ ٨٠٪ من الحـد الأقصى مع تكرار من ٨ ـ ١٢ تكرارًا.

ومن سوء الحظ أن أساليب حساب فاقد القـوة ما زالت غير دقيقة وقد تؤدى فى بعض الأحيان لحدوث إصابات لذا فـإن استخدامها فى الحياة العـملية ما زال محدوداً جداً.

تزامن الوحدات الحركية

كمـا سبق الإشـارة فإن العضلة الواحـدة تحتـوى على (١٠٠ ـ ١٠٠٠) وحدة حركية وبصفة عامة فإنه عند إثارة العضلة للعمل، فإن الوحدات الحركية تعمل بشكل

مستقل أى أنها لا تستثار بنفس المقدار، وقد أكد **ملنروبراون** Milner & Brown ١٩٧٥، أن من أهم ما يميز الرياضى الذى يتمتع بقوة عضلية عالية، هو تزامن شحذ الوحدات الحركية للعمل، وهذا يعنى أن التدريب عالى الشدة لتنمية القوة يساعد على شحذ الوحدات الحركية داخل العضلة الواحدة وبداية عملها فى نفس الوقت وتعتبر هذه الظاهرة شكلاً من أشكال تكيف الجهاز العصبى الذى يساهم فى تنمية القوة العضلية.

تأثير التعلم

يلاحظ عند أداء تدريبات المقاومات لدى الأفراد حديثى العهد بهذا النوع من التدريب عدم وجود درجة كبيرة من التوافق بين العضلات المحركة الأساسية والعضلات المضادة أو المقابلة والعضلات المثبتة، ففى تمرين ثنى الذراعين باستخدام ثقل حديدى، كثيراً ما نجد أن العضلة ذات الثلاثة رؤوس العضدية تعمل أثناء عمل العضلة ذات الرأسين العضدية لثنى مفصل المرفق فتبدو الحركة غير متوافقة، ومع استمرار عملية التدريب تبدأ هذه التوافقات فى الانتظام فيتحسن الأداء.

وقد لاحظ **روثرفورد** Rotherford ١٩٨٦ أن هناك تحسنًا فى مستوى العضلات المادة لمفصل الركبة عند استخدام تدريبات الأثقال لمدة ١٢ أسبوعًا وأن التحسن بلغ (١٦٠ ـ ٢٠٠٪) فقط خلال نفس الفترة مما يؤكد أن لتعلم التوافقات المطلوبة لأداء التمرين أهمية كبيرة فى زيادة الحد الأقصى كما أظهرته نتائج العمل الديناميكى والعمل الاستاتيكى.

كما أكد أن فترة ما بين ٦ ـ ٨ أسابيع تعتبر فترة كافية لحدوث التكيف فى الجهاز العصبى وهى تمثل السبب الأساسى فى ارتفاع مستوى القوة خلال هذه الفترة، إلا أن أهمية هذا التكيف تتناقص نسبيا أمام التغيرات المورفولوچية الناشئة فى العضلة نتيجة للتدريب.

تكيف الجهاز العضلى لتدريبات المقاومات

إن التأثير الملحوظ للتدريب طويل المدى لرفع مستوى القوة العضلية يؤدى إلى زيادة فى مساحة مقطع العضلة، فالعضلة يمكن أن تنتج قوة قصوى تعادل ٥٠ نيوتن/سم^{٢} من مساحة مقطعها وبالتالى فإن هناك ارتباطًا قويًا بين مساحة مقطع العضلة والقوة التى يمكن أن تنتجها.

يؤدى التدريب طويل المدى لكلا الجنسين إلى زيادة حجم العضلات، وتتم زيادة مساحة مقطع العضلة من خلال نظامين معروفين هما:

* **التضخم:** حيث يزيد حجم كل ليفة من ألياف العضلة.

* **الانقسام الطولى:** حيث تنقسم الليفة العضلية وبالتالى يزيد عددها داخل العضلة.

وقد أشارت العديد من الأبحاث إلى أن التضخم هو النظام المعهود حدوثه فى العضلات ويتم ذلك من خلال تغير فى عدة عوامل من أهمها:

- زيادة عدد وحجم الليفات داخل الليفة الواحدة.
- زيادة كمية خيوط البروتين وبخاصة خيوط المايوسين.
- زيادةحجم وقوة الأوتار والأربطة والنسيج الضام داخل العضلة.

وقد لوحظ أن معظم الزيادة التى تحدث فى العضلات نتيجة لتدريبها باستخدام تدريبات المقاومات تحدث فى الألياف السريعة (**رومان** Roman ١٩٩٣).

مطاطية العضلات والأوتار

تظهر معظم حركات الإنسان نتيجة للعمل العضلى بالتطويل، حيث يزيد طول العضلات وهى فى حالة شد أو توتر، ويتبع ذلك عمل عضلى بالتقصير، وهو ما يفسر وجود المرحلة التمهيدية فى أداء أى عمل مهارى، ويمكن ملاحظة ذلك بسهولة فى أداء الوثب والعدو والرمى، كما يمكن ملاحظته فى معظم تدريبات العمل ضد مقاومات، ويتم هذا النظام فى العمل فى ضوء ما يسمى بمبدأ (الإطالة ثم الانقباض) (SCC).

فالرمى على سبيل المثال يتطب تحريك الذراع للخلف ما يؤدى إلى إطالة عضلات مفصل الكتف قبل البدء فى تحريك الذراع فى إتجاه الرمى عن طريق قبض هذه العضلات.

وبمقارنة الأداء بهذا الأسلوب بالأداء بدون إطالة سابقة للانقباض فسوف نجد أن هذا الأسلوب يحقق طاقة وقدرة عالية مما يزيد من فعاليته.

وقـد تبنى هذا المبـدأ كل من **ميـرى وديمنى** Mary & Demeny ١٩٨٥ عندما لاحظا الفرق بين لاعبى وثب يستخدم أحدهما هذا المبدأ بشكل أفضل من الآخر.

وتعود الزيادة فى فـعالية الأداء باستخـدام هذا المبدأ إلى الاستفـادة من كل طاقة المطاطية المخزونة وخصائص مراكز الأفعال العصبية المنعكسة ومدخلات الجهاز العصبى نتيجة لعمل المستقبلات الخاصة بالإطالة.

وتعتـبر ميكانيكية اسـتخدام الخـاصية المرتبطة بطاقـة اجهاد الشد من العـمليات البسـيطة، فأثناء الانقباض بـالتطويل ضد مقاومـة قبل البدء فى الانقـباض بالتقصـير تستخـدم طاقة الإجهاد الناتجـة عن الشد فى اكتسـاب طاقة حركة لعـودة العضلة إلى طولها الطبيعى وتعتـبر هذه الطاقة قيمة مضافة للقوة الناتجـة عن الانقباض فيزيد ذلك من فعالية العمل العضلى.

وقـد تناول العديد من البـاحثـين هذا المبـدأ فى العديد من الدراسـات، ومنهم **كافاجنا** Cavagna ١٩٦٤ **والكساندر** Alxander ١٩٨٧ حيث اثبتـا أن الطاقة الناتجة عن استخدام هذه المبدأ تعادل ٥٠٪ من الطاقـة المطلوبة فى الجرى، كما اشار كل من **أسمورن** Asmussen **وبود بترسون** Bode - Petersom ١٩٧٤ إلى أن هناك زيادة فى مقدار الوثب لأعلى بنسـبة ١١,٥٪ باستخدام هذا المبدأ، كـما أشار ولسون Wilson ١٩٩١ أن هناك زيادة فى الحـد الأقـصى لما يمكن أن يرفـعـه اللاعب فى تمرين مـد الذراعين من الرقود (البنش) بنسبة ١٤,٥٪ عند اسـتخدام هذا المبدأ بالمقارنة باللاعب الذى لا يستخدمه.

ولهذه المعلومـات أهمية كـبيرة فى تدريب الأثقـال، فغالبـا ما تتمـيز التكرارات الأولى من أى تمرين بعدم وجـود مرحلة عمل عـضلى بالتطويل، فعلى سبـيل المثال يمكن مـلاحظة ذلك فى معظم الـتمـرينات التى تؤدى على الأجهـزة حيث نجـد أن التكرارات الأولى تكون أكثر صعوبة.

وعندما يؤدى أى تمرين باسـتخدام مـقاومة تعادل الحـد الأقصى أو أقل من ذلك بقليل سوف نلاحظ أن أولى محاولات الأداء تحتاج إلى مساعدة خارجية.

وفى العديد من الأنشطة الرياضيـة يستخدم هذا المبدأ بما يسمح بإمـكان الاعتماد على طاقة المطاطية وعمل المستقبلات الحسية المنعكسة فى المشاركة فى الأداء.

ولكى نتمكن من تحقيق أكبر فائدة مـن استخدامات هذا المبدأ فى التدريب يجب مراعاة ما يلى:

- إذا زادت الفترة الزمنيـة بين العمل بالتطويل والعمل بالتـقصير فإن قـيمة هذا المبدأ سوف تقل تدريجيـا وقد قام ولسون Wilson ١٩٩١ بحساب هذه الفترة ووجد أنها حوالى ٠,٨٥ ث وأن تقليل هذه الفترة يساعد على تحسين استغلال هذا المبدأ فى الأداء.

- إن الطاقة المخـتزنة فى العضلات نتـيجة للشـد تخرج بمعدلات سريعـة خلال مرحلة الانقباض بالتقصير وتشارك فقط فى اللحظات العشر الأولى من الثانية.

- تلعب مطاطية أوتار العـضلات دورا هاما فى تحديد كـيفية الإسـتفادة من هذا المبدأ وبخاصة فى الحركات البطيئة نسبيا كرفع ثقل عالى الشدة فى تمرين مد الذراعين من الرقود (البنش).

- تؤدى تدريبات المرونة إلى زيادة مطاطية العـضلات والأوتار وبالتالى إلى زيادة فعـالية استخـدام هذا المبدأ، حيث أكـدت عدة أبحاث أن برنامج لتنمـية المرونة لمدة ثمانية أسابيع يكفى لرفع القوة القصوى لحاملى الأثقال بنسبة ٥٪.

- على الرغم ما إشار إليه **بوشن** Pousson ١٩٩٠ بأن تدريبات القوة تؤدى إلى زيادة تيبس الأوتار، فإن **ولسون** Wilson ١٩٩٢ أكد على أن تدريبات المرونة تساعد على تقليل هذا التيبس الذى يحدث فى العـضلات والأوتار. لذا فإنه يجب الاهتمام بتدريبات المرونة عند إخضاع اللاعب لبرنامج مكثف لتنمية القوة العضلية القصوى.

- تمثل طاقة المطاطية لألياف العضلات أهمية كبيرة فى الانقباضات العضلية ذات الشدة القصوى وتأتى أهميتها فى مستوى يفوق دور الأفعال العصبية المنعكسة.

- تؤدى زيادة المرونة وزيادة مـدى الانقبـاض العضلى بالتطويل إلى زيـادة درجة الاستفادة من هذا المبدأ.