ASJP
Algerian Scientific Journal Platform
مجلة المجتمع والرياضة
Society and Sports Journal
ISSN: 2602-7992 EISSN: 2710-8384
https://www.asjp.cerist.dz/en/PresentationRevue/493
المجلد: 5 العدد: 1(جانفي2022)

أثر تطبيق التقلص العضلي اللامركزي على الألياف العضلية و أليات التجديد العضلي

The effect of applying eccentric contraction on muscle fiber and mechanisms of muscle regeneration

محمد درويش[1*]، زبير الأطرش[2]، عادل شريط[3]

[1] جامعة العربي بن مهيدي –أم البواقي– (الجزائر)، **istsmohamed@hotmail.fr**
[2] جامعة العربي بن مهيدي –أم البواقي– (الجزائر)، **zoubir_l@yahoo.fr**
[3] جامعة العربي بن مهيدي –أم البواقي– (الجزائر)، **cheriet12000@gmail.com**

تاريخ الاستقبال: 2021/05/17؛ **تاريخ القبول**: 2021/10/26؛ **تاريخ النشر**: 2022/01/31

ملخص:

يستخدم التقلص العضلي اللامركزي في تدريب القوة العضلية، حيث يعتمد هذا النوع من التقلص على الخاصية المرنة للنسيج العضلي، أين يحدث إطالة للعضلة بحيث تتباعد نقاط الارتباط على مستوى الوحدات التقلصية العضلية، يتمثل هدف هذه الدراسة في البحث عن أثر التقلص العضلي اللامركزي على النسيج العضلي، الذي يحدث مجموعة من الأضرار الميكانيكية داخل الليفات العضلية وهذا من شأنه أن يحدث مجموعة من الاستجابات الفزيولوجية تهدف إلى تجديد المناطق المتعرضة للتمزقات و التلف على مستوى الليف العضلي. تحفيز عملية التجديد وبتدخل الخلايا المستشعرة المتواجدة على مستوى الغشاء القاعدي للألياف العضلية يعتبر بداية حدوث التضخم العضلي بزيادة وتيرة تصنيع البروتينات و نشوء ليفات عضلية جديدة التي ترفع وتزيد من مساحة الليف العضلي و العضلة ككل .

الكلمات المفتاح : التقلص العضلي اللامركزي، الليف العضلي، التجديد العضلي.

Abstract:

The eccentric contraction is used in muscle strength training and it is dependent on the elasticity of muscle tissue. In this form of contraction, muscle are actively lengthened, reflecting divergent of the attachement points at the level of the contractile units. The present study aims to investigate the effect of eccentric contraction on muscle tissue, which may lead to mechanical damage of myofibrillar structures. Therefore, a variety of physiological responses are produced which play an important role in regenerating damaged areas in muscle fibers. The stimulation of the regeneration process by the intervention of satellite cells located between the plasma membrane and the basement membrane of myofibers, is considered to be the beginning of muscle hypertrophy by increasing the frequency of protein synthesis to produce new muscle fibers which increase muscle size.

Keywords: eccentric contraction, muscle fiber, muscle regeneration

* محمد درويش.

I- مقدمة :

يهدف التدريب العضلي إلى الرفع من مستويات القوة، الزيادة الملاحظة في القوة العضلية ترجع أوليا إلى التكيف العصبي يتبع ذلك تكيف عضلي (تضخم عضلي). حدوث فترات التقلص العضلي المركزي (اختصار في شكل العضلة عند التقلص) و فترات التقلص اللامركزي (تمديد العضلة عند التقلص) يعتبر مهم من أجل حدوث تطور عقلاني للتضخم العضلي. مرحلة التقلص اللامركزي يصاحبها دائما تلف عضلي (Eston et Gleim, 1999) . هذا التلف يسمح بحصول زيادة وتطور واضح في الكتلة العضلية (Lambert et Richard, 1996) ، وهذا يلخص ان التمديد على المستوى العضلي الحاصل بسبب التقلص العضل اللامركزي يرفع من مستويات تضخم العضلة (Beaurivage M, 2000, P 01).

كما أنه توجد علاقة مباشرة بين القوة و التضخم العضلي . حيث أن زيادة حجم العضلة الذي يكون بزيادة عدد خيوط الأكتين و الميوزين والجزيئات الموفرة للطاقة (ATP, CP) وكذلك الإنتاج المتزايد للشبكة الساركوبلازمية للكالسيوم يرفع من قوة التقلص العضلي(Zatsiorsky, M.V 1995)، وكلما كان حجم العضلة أكبر كلما كانت القوة المطلقة قصوى (Prevost, 1998)، ويشير (Hartmann L et Tünnemann H, 1995) إلى أن زيادة حجم العضلة بنسبة 10% ينتج عنه زيادة بنسبة 25 % للقوة القصوى.

إن العمل العضلي اللامركزي يعتبر تقلص عضلي تمديدي أين يحدث فيه تباعد لنقاط الارتباط، حيث أنه عند العمل اللامركزي العضلة القابضة تقاوم الحركة العكسية، وذلك بكبح الحركة. لا تزال آلية و فزيولوجية التقلص العضلي اللامركزي محل بحث دائم و مستمر نظرا لتأثيره الكبير على النسيج العضلي، وعند تطبيق التقلص العضلي اللامركزي نصل إلى القوة القصوى عند المرحلة الأخيرة من التمدد، المركب عضلة –وتر ينتج عنه مقاومة بسبب التمديد. كما نسجل أثناء العمل العضلي اللامركزي الاستخدام التفضيلي للألياف العضلية السرمن النوع IIb (Middleton P et al., 1993, P150) وخلال هذه المرحلة القوة ترتفع تدريجيا وصولا إلى الوضعية القريبة من التمديد الأقصى، وعند الوصول إلى المرحلة القصوى توجد آلية استشعار مركزية تحفز مستقبلات كولجي الوترية التي تسمح بالانخفاض السريع للقوة العضلية . كما أن العمل العضلي اللامركزي المطول يعتبر مسؤول عن الآلام العضلية المتأخرة وهذا بعد حوالي 8 ساعات التي تلي النشاط البدني وتستمر هذه الآلام إلى أن تتوقف بعد 2 إلى 3 أيام (Middleton P et al., 1993, P151)

1. إشكالية الدراسة:

فزيولوجية التقلص العضلي اللامركزي أقل معرفة من التقلص المركزي. ومع ذلك هناك اختلافات بين كلا النوعين من التقلص. العمل العضلي اللامركزي يستخدم بشكل تفضيلي الألياف العضلية من النوع II (Middleton P et al, 2000, P95). كما أنه أقل إستهلاكا للطاقة (ATP) و الأكسجين عكس التقلص العضلي المركزي الذي يستخدم الATP و الآلية الهوائية من أجل العمل. يحفز العمل اللامركزي تحفيز الوحدات الحركية مع عتبة منخفضة من استثارة الخلايا العصبية الحركية(Deslandes R et al, 2003, P 10). وهي الوحدات الحركية من النوع السريع، حيث تؤدي هذه الظاهرة إلى حدوث حركتين وهما زيادة رد الفعل التمددي من أجل تحريك أحسن للأحزمة العصبية العضلية و زيادة التزامن الخاص بالوحدات الحركية (Gasq D et al, 2009, P 20)، مما يؤدي إلى توزيع التوتر بشكل أفضل بين الألياف العضلية المستخدمة لتحسين التقلص العضلي تفسر هذه التكيفات جزئيا التأثير الوقائي للتقلص العضلي اللامركزي. ومن جهة أخرى فإن التمدد الحاصل على مستوى الألياف العضلية يؤدي إلى حدوث تمزقات صغيرة على مستوى الوحدات التقلصية (sarcomére) التي تصبح في حالة تلف واضحة تظهر في اختلال التنظيم البنيوى للوحدات التقلصية حيث يظهر ذلك في تمزق و انخلاع الخطوط Z، غياب الشكل المخطط لليف العضلي نتيجة للتلف الحاصل لخيوط الأكتين و الميوزين. كما يحدث هذا النوع من التقلص تلف على مستوى البروتينات في الرابطة العضلية الملتحمة مثل الدسمين و التيتين

(Roig Pull M et Ranson C, 2007, P 90). المسؤولان عن إعادة تنظيم و مضاعفة نفس هذه البروتينات . على سبيل المثال بعد العمل العضلي اللامركزي يظهر الدسمين بكمية معتبرة و أكبر من البداية (Barash I.A et al, 2002, P960). الحمولة الناتجة من هذا النوع من التقلص تحفز عملية الإلتئام على مستوى النسيج العضلي و النسيج الضام (Croisier J.L et al, 2009, P 128) ، من خلال التنشيط و التكيف على مستوى المعقد أو على مستوى المكونات العضلية حيث يتم تحفيز الخلايا المستشعرة من أجل الرفع من عملية تجديد الألياف العضلية ، و على مستوى النسيج الضام يتم تنشيط نضج خلايا الفبربلاست و تسريع تشكيل ألياف الكولاجين و تسهيل تغلغلها في النسيج العضلي (Queiros Da Silva C et al, 2005, P 223). كل هذه العليات التي تنشط بعد التوقف من العمل العضلي اللامركزي تهدف إلى عملية التجديد العضلي و الرفع من مستوى القوة العضلية ما يصاحب ذلك آلام عضلية متأخرة قد تستمر إلى 10 أيام . بالنظر إلى ما تم التطرق إليه سابقا سوف قمنا بطرح الإشكال التالي : ما هو أثر التقلص العضلي اللامركزي على الألياف العضلية و عملية التجديد العضلي ؟

من خلال طرح الإشكالية الرئيسية قمنا بطرح التساؤلات الفرعية التالية :

1.1 التساؤلات الفرعية :

- ما هي التغيرات الحاصلة بعد تطبيق التقلص العضلي اللامركزي على مستوى الألياف العضلية؟
- كيف تحدث آليات التجديد العضلي للألياف العضلية التالفة بعد تطبيق التقلص العضلي اللامركزي؟

2. الفرضية العامة :

يحدث التقلص العضلي اللامركزي أضرار كبيرة على مستوى الألياف العضلية و يخلق جملة من الآليات التفاعلية التي من شأنها أن تؤدي إلى تجديد النسيج العضلي.

1.2 الفرضيات الجزئية :

- التقلص العضلي اللامركزي يعمل على تمديد الألياف العضلية التي تتعرض إلى مجموعة من التمزقات المجهرية .
- يتعرض النسيج العضلي إلى جملة من الإستجابات الفزيولوجية التي من شأنها أن تؤدي إلى تجديد النسيج العضلي التالف.

3. المصطلحات :

1.3 التقلص العضلي اللامركزي : وهو العمل العضلي الكابح الخارجي يتدخل أثناء فترة التخفيف والنقص في القفز و عند تنفيذ حركات الانطلاق، وهو يتميز بزيادة في طول العضلة (تمدد) عن طريق قوة نشطة تمددية (Weineck J, 1997, P 182) .

أثناء الانقباض العضلي اللامركزي يحدث الشد العضلي جراء طول العضلة وتكون في حالة التقلص باتجاه منشأ العضلة ومدغمها وليس باتجاه المركز، التقلص اللامركزي الخارجي يحدث فيه تباعد نقاط الارتباط عن بعضها البعض حيث تتمدد العضلة أما الحركة التي تنتج عندما تكون المقاومة اكبر من القوة الناتجة من طرف العضلة (حسين قاسم حسن ، 1998، ص 346).

2.3 الليف العضلي: وهو نوع من أنواع الخلايا توجد في النسيج العضلي و هي خلايا عضلية طويلة ، أنبوبية الشكل تشكل النسيج العضلي الذي ينشأ من طبقة الميزودرم (الطبقات المنبتة الأولية)، وتحتوي كل خلية عضلية على عدد من الليفات العضلية.كما تتكون الليفات العضلية على مجموعة من الخيوط تدعى بـ(الأكتين و الميوزين) و التي تعطي الشكل المخطط للنسيج العضلي، حيث نلاحظ منطقة عاتمة تدعى المنطقة (A) تكون محاطة بخطوط نيرة تسمى الخط (I) في كل منطقة (A) يقطعها خط في الوسط يدعى بالخط (M) في كلا جهتي هذا الخط نجد المنطقة (H) ممثلة الفراغ الموجود بين خطوط الأكتين، كما تنقطع المنطقة (I) بخطوط عاتمة تدعى الخطوط (Z) و التي تشكل الوحدة التقلصية (sarcomère).

3.3 التجديد العضلي : وهي عملية يتم من خلالها إعادة ترميم الخلايا العضلية التالفة عن طريق تدخل خلايا تسمى الخلايا المستشعرة المتواجدة بين الغشاء القاعدي و غشاء الألياف العضلية ، عند حدوث تمزقات تهاجر الخلايا المستشعرة و هي الخلايا الجذعية العضلية القادرة على التجديد الذاتي و المشاركة في تصنيع ليف عضلي جديد، عند حدوث التمزقات العضلية الخلايا المستشعرة تحفز من اجل عملية التكاثر و الانقسام ثم تهاجر نحو الأماكن المتضررة من الليف العضلي من أجل عملية التجديد (Chazaud B et all, 2007, P 794) .

4. أهداف الدراسة :

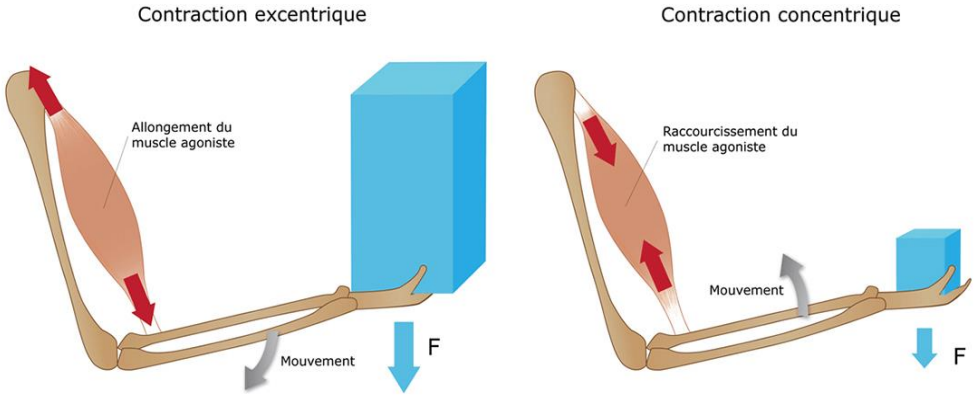
تمثلت الأهداف الرئيسية من هذه الدراسة في العناصر التالية :

- التطرق إلى ماهية التقلص العضلي المركزي و تأثيره على الألياف العضلية .
- توضيح مختلف الاستجابات الفزيولوجية التي تلي عملية التدريب أو التقلص العضلي اللامركزي على مستوى الألياف العضلية المستخدمة.

التطرق إلى الآليات المحفزة لعملية تصنيع و بناء البروتينات على مستوى النسيج العضلي (التجديد العضلي) بفعل التقلص العضلي اللامركزي .

5. تأثير التقلص العضلي اللامركزي على النسيج العضلي:

يرجع أصل الآلام العضلية إلى العمل الميكانيكي (التمديد الأقصى) وكذلك إلى عوامل أيضية التي تفسر التمزقات الحاصلة عند أخذ عينة من النسيج العضلي مباشرة بعد التمرينات (Middleton et al, 1993). مرحلة التقلص اللامركزي يصاحبها عامة ضرر و تلف عضلي، هذا التلف يسمح بزيادة مستويات التضخم العضلي (Hortobagyi et al, 1996) . حيث أشار كل من (Kraemer et Fleck 1998) إلى أن البحث عن زيادة التضخم العضلي و مراقبة المقاومة المطبقة أهم من مدة التقلص العضلي. وعلى العكس دراسات أخرى أشار إليها كل من (Hortobagyi et al , 1996 ; Smith et Rutherford, 1995) توضح أنه عند التقلص العضلي اللامركزي من المستحسن أخذ أكثر للمدة الزمنية مقارنة بالتقلص المركزي نظرا لأن القوة تكون أكبر من أجل حمل الحمولة مقارنة بالسحب.



صورة رقم 01: توضيح عملية التقلص العضلي اللامركزي مقارنة بالتقلص العضلي المركزي .

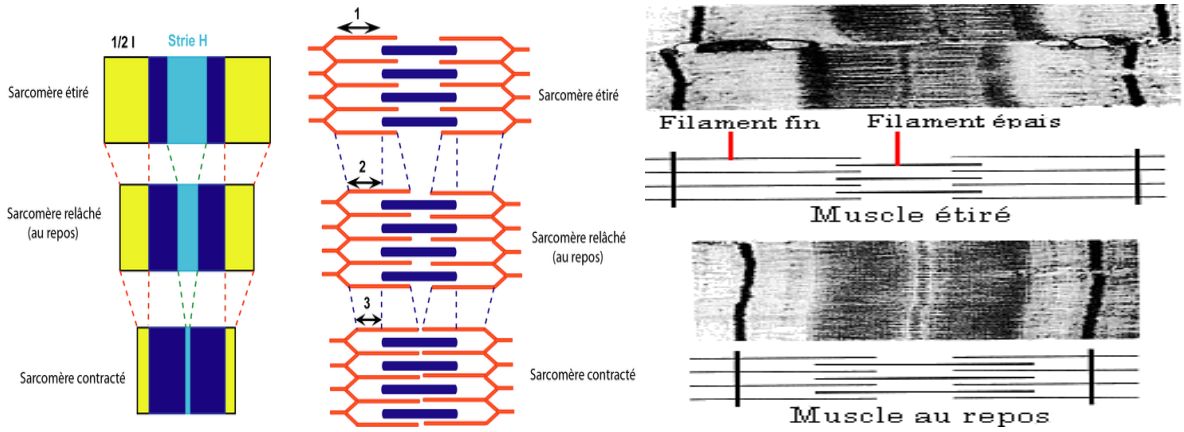
كما أشار (Schmidt B, 1985) إلى أن طريقة التدريب اللامركزي تسمح بالوصول إلى مستوى أعلى للقوة بنسبة 10 % مقارنة بما هو عليه الحال في القوة القصوى الإيزومترية، حيث أن هذا النوع من العمل العضلي يسمح أيضا باستخدام الألياف السريعة عند مستوى أكبر مما هو عليه في التقلص العضلي المركزي و الإيزومتري (Dellal A , 2008, P 193).

دلت بعض الدراسات إلى أن التدريب العضلي اللامركزي يسمح بإنتاج قوة عالية مع تكلفة منخفضة للعمليات الايضية والعصبية، وعند قياس المبادلات الغازية أو قياسات مخطط الطاقة العضلية (EMG) نلاحظ بانتظام أنه من أجل مستوى معين للقوة المنتجة يبدأ الجسم بأقل طاقة ممكنة مع إنتاج أقل لإشارات (EMG) وهذا عكس ما هو ملاحظ في العمل العضلي المركزي (Buisset S et Maton B, 1999, P 85).

وما هو ملاحظ في بعض للقياسات المنجزة أن القوة القصوى الناتجة من التقلص اللامركزي يمكن أن تمثل 130 % من القوة القصوى الإرادية المنتجة عند التقلص المركزي و الإيزومتري. حسب ما أشار إليه Roig et all,(2009) أثناء تجربة منظمة أن التدريب العضلي اللامركزي يعتبر عال الشدة مما يسمح بزيادة القوة و حجم العضلة الهيكلية، كما تم تسجيل تكيفات خاصة بالعضلة و سرعة التقلص المستخدمة عند التدريب و هذا ما جعل المدرسة الأمريكية للطب الرياضي تنصح باستعمال كل أنواع التقلص العضلي أثناء تدريب القوة للشخص الناضج و المتمتع بصحة جيدة (Roing M et al , 2009 , P 68).

من جهة أخرى فإن التطبيق اللامركزي للقوة يجب أن يستخدم من أجل الوصول إلى أقصى تأثير للتدريب على المجموعات العضلية و من المعروف أن هذا النوع من التمرينات ينتج عنه آلام وفقدان للقدرات التقلصية للعضلة أثناء 48 ساعة التي تتبع التدريب، هذه الآلام تختفي و تنخفض حدتها عند التكيف و التعود على هذا النوع من العمل العضلي (Proske U , Morgan D L, 2001 , P537).

أثناء التقلص العضلي اللامركزي (excentrique) تساهم العناصر المرنة للمركب العضلي و الأوتار في القوة الخارجية بطريقة مزدوجة هذه القوة تكون أكبر من تلك المنتجة عند العمل العضلي المركزي (concentrique) من أجل سرعة زاوية معينة، يفرض التمدد العضلي شد عضلي مهم يحرض هدم الغشاء الخلوي (cytosquelette) والتهاب موضعي مسئول عن الآلام العضلية المتأخرة كما هو شائع عامة حيث تسمى هذه الظاهرة بـ (Delayed Onset muscular Soreness , DOMS) بداية الآلام العضلية المتأخرة (Lieber R.L et Friden J, 2002, P 67). و من أجل حماية الجهاز العضلي الهيكلي من هذه الأضرار توجد مجموعة من الآليات تمنع و تلعب دورا مهما والمتمثلة في نشاط الجهاز العصبي، هذه الاستجابة الخاصة بالجهاز العصبي العضلي تظهر عند التقلص العضلي اللامركزي (excentrique) و هذا ما قاد مجموعة من الباحثين بالاهتمام بالتأثير اليومي للتمرينات العضلية اللامركزية عند عملية التدريب الخاص بالقوة، هذا النوع من التقلص يهتم مباشرة بشكلين للتطبيق العضلي عند جهد بدني أقصى أو تحت أقصى مما ينتج عنه تطور مهم في القوة إضافة إلى تقوية المركب العضلي الوتري بتحريض تصنيع ألياف الكولاجين و تنشيط مجموعة من المورثات التي تنمي و تطور الخلية (Langberg H et al, 2007, P61) .



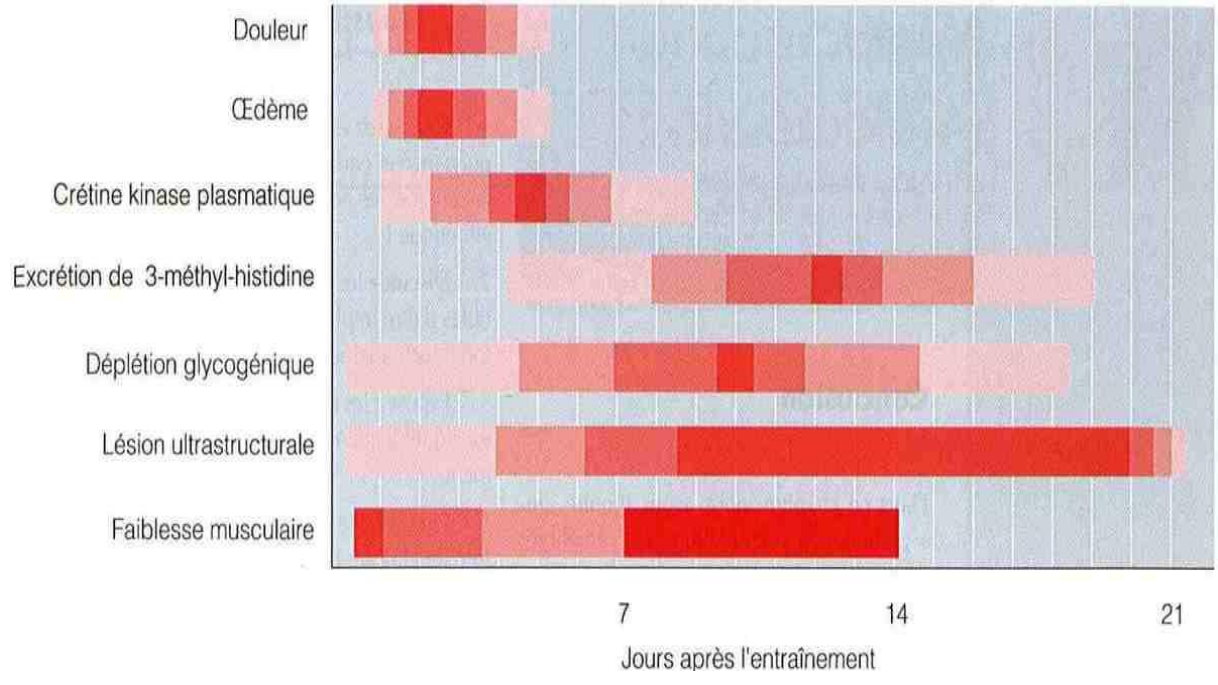
صورة رقم 02: حالة الوحدات التقلصية (sarcomère) عند التقلص العضلي اللامركزي (التمددي) .

إن قدرة إنتاج القوة العضلية لها علاقة بمساحة و سمك العضلة، حيث يؤثر كلا هاذين العاملين مباشرة على كمية المكونات والعناصر التقلصية، و التي يمكن قياسها عن طريق مصورة المسافة الفاصلة بين الأغشية العميقة و المحيط العضلي (سمك العضلة). القوة المنتجة لها علاقة أيضا بمكونات و تفاصيل العضلة، أي بمعنى كيفية تنظيم وطول الألياف العضلية في العضلة ككل ، إن استخدام تقنيات جديدة مثل تخطيط الصدى (échographie)، أو المصورة عن طريق الصدى أو الرجع المغناطيسي (IRM)، تسمح بدراسة مكونات و تفاصيل العضلة في ظروف ثابتة أو عند الإنجاز العضلي (Fukunaga T et al, 1996, P 1430).

الدراسات المنجزة حول العضلة الهيكلية للحيوان تدل على أن طول الحزم العضلية يؤثر مباشرة على سرعة تقلص العضلة، و في نفس السياق هذا العنصر له تأثير على التفوق الحركي، نظرا لأن الحزم العضلية لرياضيي السرعة في المستوى العالي تكون أطول من رياضيي السرعة عند الهواة. إن الخصائص الميكانيكية للحزم و الأوتار لها علاقة بشكل و شدة التمرين العضلي اللامركزي، كذلك للعضلة و الجهاز المفصلي المعني. إن الاختلاف و الفرق في خصائص الحزم العضلية أثناء التقلص العضلي (اختصار تمدد)، يرتبط بنوع التمرين المنجز الذي يؤثر على تمديد العناصر المرنة و يضمن فعالية الحلقة (تمديد ،قفز) ، بالتالي فإن الطاقة المستخدمة من طرف المكونات المرنة تنتج قوة إضافية بدون استهلاك طاقة (ATP)، هذه الآلية تسمح باقتصاد الطاقة الايضية الكلية المستخدمة من طرف العضلة (Ischitawa M et al , 2006 , P300).

6. الاستجابات الفزيولوجية الحاصلة على مستوى النسيج العضلي بعد التقلص العضلي اللامركزي :

إن فقدان قدرات التقلص العضلي أثناء 48 ساعة التي تتبع التدريب هي مؤشرات تدل على التلف العضلي على مستوى الوحدات التقلصية (sarcomère) يصاحب ذلك تحللات بروتينية وهذا ما يفسر الاضطراب في المزدوجة (تنبيه – تقلص) أي بمعنى قدرة تحفيز الوحدات الحركية (UM) وبالتالي فإن التدريب اللامركزي يعتبر خطير على الأشخاص في حالة إعادة تأهيل أو لديهم قدرات استرجاع عضلية ضعيفة (Werren G. L et al ,2001 , P 82). أكثر من 75% من فقدان لقدرات التقلص العضلي تلاحظ بعد التدريب العضلي اللامركزي ويعتبر التلف الحاصل في البنية العضلية المسئول عن من فقدان القوة بنسبة 25% إضافة إلى الآلام الملاحظة بعد التدريب وبالإمكان مقارنة هذه الأضرار بتلك التي تنتج بعد تدريب مركزي بحمولة ثقيلة (وحدات تقلصية غير منتظمة، و متطاولة، خطوط Z تالفة، عدم انتظام خيوط الأكتين و الميوزين و القنوات المستعرضة) و يلاحظ هذا خاصة عند الألياف العضلية السريعة (Friden J, Lieber R L, 2001, P321).

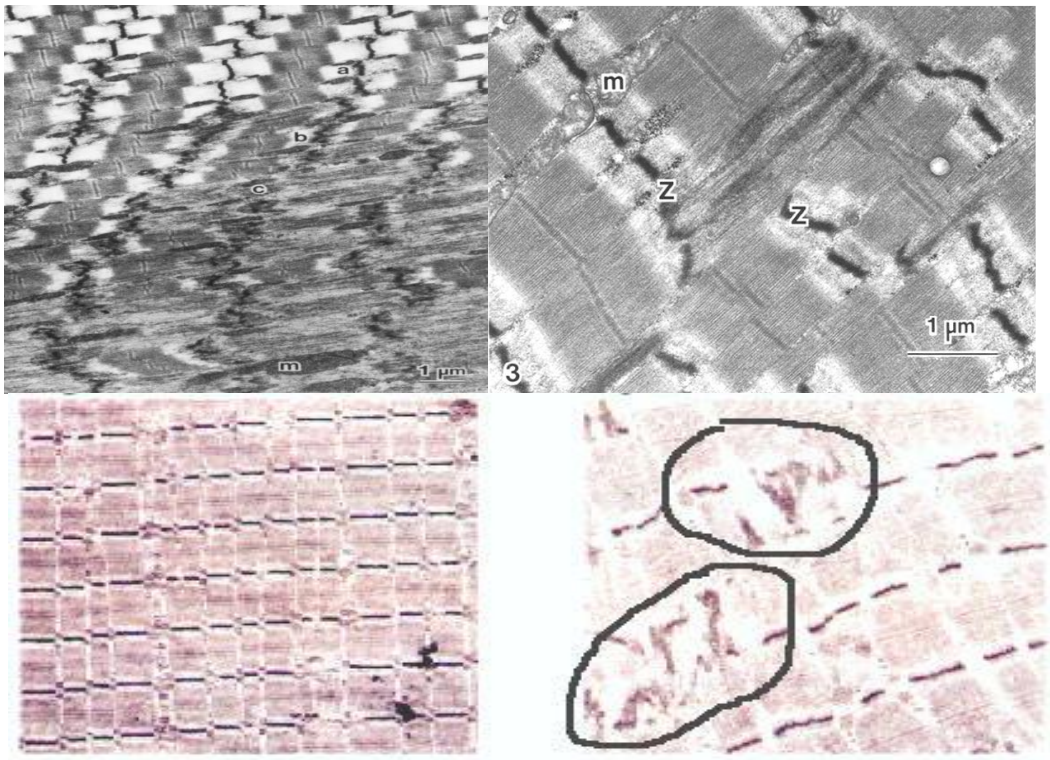


شكل رقم 01: *يوضح تسلسل الأحداث بعد التدريب العضلي اللامركزي العالي الشدة* حسب (Evans W.J et Cannon J.G, 1991.) .

1.6 الأضرار العضلية (Dommages musculaire):

يؤدي التقلص العضلي اللامركزي إلى وضع الجهاز العضلي الوتري في حركات إجبارية ميكانيكية مرتفعة (تحت قصوى)، هذا المستوى العالي من الشد العضلي يصاحبه مد إجباري لكل من العضلة و الأوتار مما قد ينتج عن ذلك تمزقات صغيرة في الألياف العضلية(Coudreuse J. M et al, 2004, P 290) . على المستوى الخلوي، هذه الأضرار أو التمزقات تخلق عدم انتظام بعض الوحدات التقلصية (sarcomère) مع اختلال في مواقع الخطوط (Z) كما ينتج تمزقات في غشاء الألياف (الساركولام) و القنوات المستعرضة (Tubule transverse) و الشبكة الساركوبلازمية، وفي بعض الحالات تحدث أضرار أكثر حدة تتمثل في تمزق الخطوط (Z) أو الخطوط في المنطقة (A) هذه التمزقات ينتج عنها التهابات مسئولة عن الظهور التدريجي للآلام العضلية تحت تأثير متأخر لظاهرة (DOMS) (Lieber R.L et Friden J, 2002, P 68).

كما تعتبر التمرينات العضلية ذات التقلص اللامركزي المسئول الأول عن هذه الآلام و هذا ما يسمى بالأوجاع (Courbatures)، حيث تأتي هذه الظاهرة بعد 12 إلى 48 ساعة من تطبيق التمرينات العضلية القصوى وعادة قد تصل هذه المدة من 24 إلى 72 ساعة قبل أن تختفي كلية بعد 5 إلى 7 أيام (Ebbeling C.B et charkson P.M, 1989,P 207) .



صورة رقم (03) : يوضح تحت المجهر الالكتروني اختلال وانخلاع الخطوط Z للييفات العضلية بعد عمل عضلي لا مركزي (concentrique) حسب (Friden et al,1984) (Gael G, 2010, P 19)

يصاحب الآلام العضلية المتأخرة انخفاض في قدرات إنتاج القوة 10 إلى 60 % حسب الدراسات الخاصة بالقوة القصوى الإرادية الثابتة، حيث تسترجع هذه القدرات بمدة قد تصل إلى أسبوع. أشار (Amstrong R.B,1984) إلى فرضية تتعلق بمستوى التمزقات الحاصلة للنسيج العضلي و الضام التي يرجع سببها إلى الآلام العضلية (DOMS)، حسب هذه النظرية فإن أعلى درجة

لعملية الشد المنتجة من طرف الجهاز التقلصي تؤدي إلى أضرار بنيوية في العضلة و الأغشية الخلوية، كما يعمل التمزق في الغشاء العضلي على إفراز الأنزيمات في الوسط البين خلوي مثل الكرياتين كيناز (CK) أين توجد السلاسل الثقيلة للميوزين التي تشكل صورة ملاحظة للتمزقات العضلية الناتجة من أداء التمرينات البدنية (Sorichter S et al, 1999, P 18) .

إن الأضرار التي تمس الأغشية الخلوية تؤدي إلى اختلال التوازن الداخلي للألياف المتمزقة كما تعمل على موت موضعي للخلايا بعد 48 ساعة من التمرينات حيث تدخل كمية معتبرة من أيونات الكالسيوم Ca^{+2} داخل الألياف العضلية هذا التركيز لأيونات الكالسيوم في الوسط الهيولي للخلية يعمل على زيادة عمل مضخات الكالسيوم، و عمل أنزيم ATP ase ، كما يرهق القدرات الطاقوية الخلوية لتصبح هذه الأضرار في اتجاه واحد ، تنشط أيونات الكالسيوم المفرطة Ca^{+2} أيضا إنتاج البروتينات في الليزوزومات التي تؤدي إلى أحداث تمزقات في البروتينات العضلية (Sorichter S et al, 1999, P19).

يؤدي نشاط البروتياز (Protéases) الذي يعد خميرة مذوبة والليباز الكالسيومي (lipases-calcium) (خميرة حالة للدهون) إلى هدم البروتينات البنيوية و التقلصية للألياف العضلية، وكذلك الفوسفوليبيدات المكونة لهذه الأنسجة، نتائج نشاط عمليات البلعمة من طرف الخلايا و الجزيئات ما بين الخلوية ينتج عنها التهابات، يتراكم كل من (الهستامين، الكينين، و أيونات K^+) خارج الخلية كما تحرض النهايات العصبية الحرة للعضلة (الخلايا العصبية من النوع III , IV). تتميز الالتهابات بمرحلة بلعمية و تحولات كيميائية هامة يتبع ذلك إرهاق ميكانيكي الذي يعتبر المسئول عن الآلام الموضعية في هذه الفترات، كل هذه المراحل التي تتبع تدريب القوة العضلية تحرض أو تحفز النسيج العضلي من أجل إعادة بناء و تجديد الألياف و الخلايا التالفة (Morgan D.L ,1990, P 209).

2.6 العمل العضلي اللامركزي و العمليات الايضية:

على المستوى الأيضي العمل العضلي اللامركزي يتميز أيضا بأقل استهلاك للطاقة هذا الاقتصاد يفسر بانخفاض في استعمال و تحفيز الوحدات الحركية (UM) عند مستوى معين من القوة و من جهة أخرى بسبب التمزقات العضلية التي تحصل في بعض خيوط الأكتين و الميوزين عند تشكيل المركب أو المعقد و هذا بسبب قوة التمدد المفروضة على النسيج العضلي (Morgan D.L , 1990, P 209) .

كما توجد فوائد و منافع بيوميكانيكية و بيوطاقوية عند العمل العضلي اللامركزي، التي من شأنها أن تطور من قدرات العمل الأيضي العضلي بتخزين أكثر للمواد الطاقوية المستخدمة، و زيادة نشاط الأنزيمات التي تنشط عند هذا النوع من التقلص. مع ظهور التغيير في الشكل الهندسي العضلي ما يسمح بزيادة الفعالية و القوة المكتسبة للعضلة. عند التدريب المستمر و المرتفع الشدة للتقلص العضلي اللامركزي يحدث ذلك أضرار على مستوى النسيج العضلي تظهر في التمزقات العضلية الصغيرة وإتلاف بنيوي ووظيفي في العضلة المطبقة و قد يستمر هذا لعدة أيام، اختفاء و تلاشي هذه التمزقات العضلية تسبب آليات التهاب يصاحب ذلك عامة آلام متأخرة (courbature ; DOMS) ، (Cheug K et al , 2003, P 145)

إن ملاحظة الحساسية المفرطة في الألم استجابة لتنبيه معين أو تمييز حسي للألم من أجل تنبيه غير مؤلم يؤدي إلى تدخل المنشطات (nocicepteurs) ذات العتبة المنخفضة التي تتدخل في المجموعات العصبية من النوع (III et IV) و المتميزة بحجم صغير الموجودة في النهايات العصبية الحرة الموزعة في النسيج العضلي و الضام وخاصة في منطقة الارتباط الوتري، تعتبر النهايات الحرة حساسة للتغيرات الكيميائية، الحرارية و الميكانيكية و المتخصصة في تحريك آليات الالتهاب التي تحصل من أجل تلاشي التمزقات العضلية، و على المستوى البيولوجي يظهر بعد مدة متأخرة زيادة نسبة الأنزيمات العضلية في الدم مثل الكرياتين كيناز (CK) و اللاكتات ديدروجيناز (LDH) و المواد الايضية المسئولة عن الهدم وبعض الأحماض الآمينة مثل (Hydroxyproline et hydroxylysine) (Kniffki K.D et al, 1978, P 511).

7.الآليات الفزيولوجية المحفزة لعملية تصنيع و بناء البروتينات على مستوى النسيج العضلي بعد تطبيق التقلص العضلي المركزي :

1.7 التمزقات في النسيج الضام و العضلي (**mécrolésions des tissues conjonctif et musculair**):

المعالجة البنيوية للنسيج العضلي بعد تدريب القوة ينتج عنها تمزقات مستمرة يعكس ظهور التهابات صغيرة في أماكن محددة في النسيج العضلي على مستوى الساركوبلازم، القنوات المستعرضة، الشبكة الاندوبلازمية، ما يفسر بعدم انتظام بعض الوحدات التقلصية (sarcomère) و ظهور مؤشرات التلف في النسيج الضام وحدوث التهابات تحفز تدخل الخلايا البلعمية و الخلايا المستشعرة من أجل تحديد النسيج العضلي التالف. (Cheung K et al, 2003, P146) .

2.7 الأسباب الرئيسية المسببة للالتهابات العضلية :

إن السبب الرئيسي لعملية للآلام العضلية المتأخرة (DOMS) أشار إليه (Amstrong R.B , 1984, P529-530)، حيث قام بتقسيم مراحل مختلفة لآلية الالتهابات الحاصلة بعد تدريب القوة العضلية :

1.2.7 مرحلة التولد الذاتي (le stade autogénique) :

تتمثل في الثلاث ساعات الأولى بعد التمرين البدني حيث يلاحظ بداية آليات هدم المكونات الغشائية التالفة .

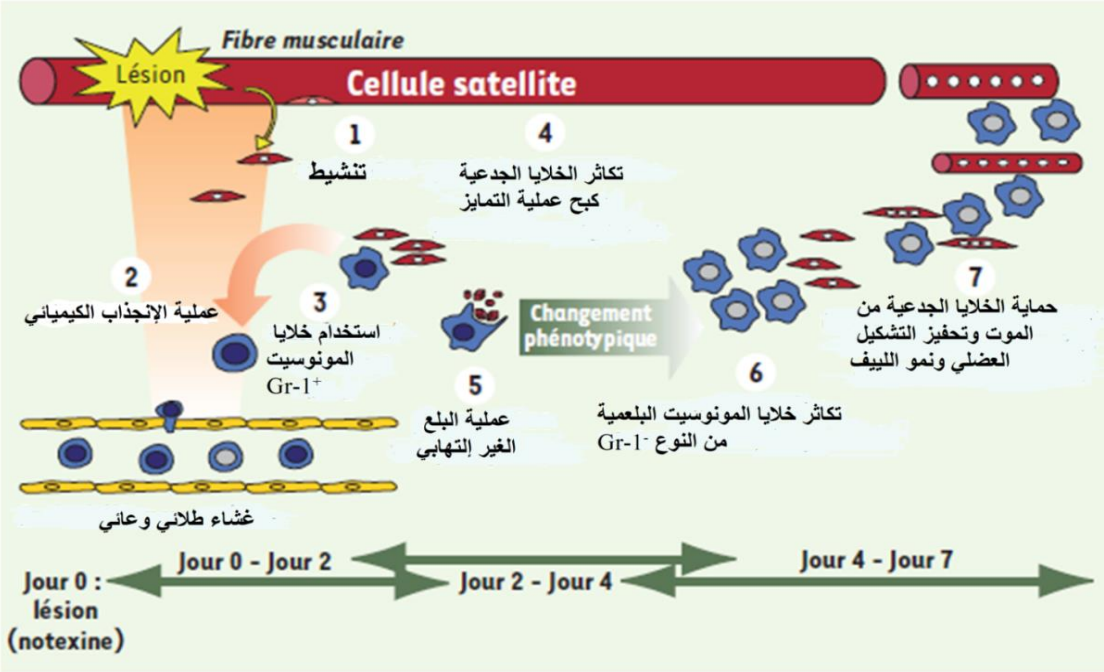
2.2.7 مرحلة البلع (le stade phagocytaire) :

تتمثل في غزو و اجتياح منطقة التمزقات من طرف مجموعة من الخلايا البلعمية، عمليات التحرير من طرف الأنسجة المتمزقة تعمل على إفراز وسائط كيميائية تؤدي إلى زيادة تدفق الدم و الحرارة الموضعية كل هذا يسبب ظهور آلام محلية.

3.2.7 مرحلة التجديد (stade de régénération) :

تبدأ بعد 4 إلى 6 أيام من التمرينات البدنية كما يمكن أن تستمر هذه المرحلة لعدة أسابيع بعد التدريب. إن العمل على تطوير القوة ينتج عنه مجموعة من التكيفات المرفولوجية و العصبية ومن بين هذه التكيفات الأولية نجد نمو و تكاثر الألياف العضلية و هذا بعد عدة أسابيع من التدريب، كما تتم التكيفات العصبية أثناء المراحل الأولى من الممارسة حيث ينتج عن ذلك فعالية في التناسق العصبي العضلي نتيجة للتحفيز الكبير و المهم للوحدات الحركية العضلية (UM) و النشاط المرتفع للعضلات المستخدمة .

يحتوي تدريب القوة على خصائص بنائية التي تتمثل في التضخم العضلي بحصول تغيير وراثي الطبع للعضلة نحو شكل سريع، حصة واحدة لتدريب القوة تؤدي إلى إفراز بعض البروتينات المصنعة من طرف الخلايا العضلية. الأبحاث الأولية حول هذا الموضوع دلت على أن عدد الألياف العضلية في كل عضلة هو ثابت حيث تبقى هذه الأعداد نفسها طيلة الحياة و بتأثير تدريب القوة تحدث مجموعة من التكيفات على النسيج العضلي و نطلق على هذا التكيف بمصطلح (التضخم العضلي) الراجع إلى التطور الحاصل في مختلف مكونات النسيج. (Wilmore J.H et Costil D.L, 2006, P 167).



صورة رقم (04) : مخطط يوضح دور الخلايا البلعمية في عملية التجديد العضلي حسب (Chazaud B et al, 2007, P795)

تتكون العضلة من عنصرين نسيجيين هما الألياف العضلية و النسيج الضام الذي يغلف العضلة المتكون من ثلاث طبقات هي (الأبيميزيوم، البيريميزيوم، الأندوميزيوم)، هاذين العنصرين لا يملكان نفس القدرة على التمدد، الرابطة بين الألياف العضلية والغشاء الضام المغلف (الأندوميزيوم، و البيريميزيوم) تسمى أيضا برابطة التقاطع العصبي العضلي (myo-aponévrotique) و هي منطقة حدوث التمزقات الراجعة لعدة أسباب هي :

- **التدريجية** : حيث يمكن للآلام أن تحدث بطريقة تدريجية أثناء التوقف أو بعد الممارسة الرياضية. هذه الآلام العضلية المتأخرة هي نتائج العمل العضلي اللامركزي.
- **خارجيا**: ويتمثل ذلك في صدمة خارجية في الجسم العضلي مع سحق الألياف العضلية ، هذا النوع من التمزقات يصاحبه عامة تدفق يشكل ورم دموي وهذا يشكل حولي 10% من حالات التمزق على مستوى التقاطع العصبي العضلي.
- **داخليا**: ويتمثل في تمزق الألياف العضلية أو النسيج الضام وهذا راجع إلى الوظيفة التي يقومون بها حيث تمثل 90 % من التمزقات على مستوى النسيج العصبي العضلي (myo-aponévrotique).

8. خاتمـــة :

يعتبر التقلص العضلي اللامركزي ذو التأثير الأكبر على حدوث بعض الأضرار الميكانيكية في النسيج العضلي، هذه الأضرار تتمثل في تمزق غشاء الألياف (الساركولام) و القنوات المستعرضة (Tubule transverse) و الشبكة الساركوبلازمية واختلال في مواقع الخطوط Z أو المنطقة (A) حيث تعتبر هذه الأضرار الناتجة في النسيج العضلي المسؤولة عن الظهور التدريجي للآلام العضلية تحت تأثير متأخر لظاهرة (DOMS) التي تأتي بعد 12 إلى 48 ساعة من تطبيق التمرينات العضلية وقد تستمر هذه الظاهرة إلى غاية أسبوع. حدوث تمزقات على مستوى الليفات العضلية يؤدي إلى النشاط المكثف للجهاز المناعي بهجرة مجموعة من الخلايا نحو الأماكن المتضررة. حدوث ظاهرة الآلام العضلية المتأخرة (DOMS) ينتج عنه تطور في القوة بزيادة التضخم العضلي، إلا أن هذه الطريقة

تستلزم فترات راحة طويلة وينصح بتفادي هذا النوع من التدريب عند الاقتراب من مرحلة المنافسة نظرا للتأثير الكبير و الصادم على النسيج العضلي.

قائمة المراجع و المصادر :

1- BooKs :

1) حسين قاسم حسن (1998)، أسس التدريب الرياضي، دار الفكر للطباعة و النشر و التوزيع، عمان، الأردن.

2) Buisset S et Maton B (1999), Muscles posture et mouvement, Bases et Applications de la méthode électromyographique, Ed hermann, paris.

3) Palau J.M, science biologiques de l'enseignant sportif, Ed Doin, paris, 1985.

4) Wilmore J.H, Costil D.L, (2006), physiologie du sport et de l'exercice, Traduction de la 3éme édition américaine par Arlet et Paul D, Carole G, Hassen Z, Ed de Boeck, Bruxelles.

5) Weineck J, (1997) manuel d'entrainement, Ed Vigot, Paris.

2- Articles

1) Bruchard A. (2013) , Lésions musculaires et aponévrotiques du footballeur (1ére partie). Kiné Actu. juin;(1326):18-22.

2) Barash I.A., Peters D., Fridén J., Lutz G.J., Lieber R.L. - Desmin cytoskeletal modifications after a bout of eccentric exercise in the rat. American Journal of Physiology, Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 2002, 283, p. 958-63.

3) Coudreuse J.M, Dupont P, Nicol C, (2004), Delayed post effort muscle soreness, *Ann Readapt Med Phys*, 47(6), 2004, P 290-8.

4) Croisier J-L., Crielaard J-M., Maquet D., Forthomme B. - Pathologie ischiojambière : évaluation et renforcement en mode excentrique. In CROISIER J-L., CODINE P.- Exercice musculaire excentrique. Paris : Masson, 2009. p. 125-130. Pathologie locomotrice et médecine orthopédique ; 65.

5) Chazaud Benedicte, Fabrice Chretien, Romain K. Gherardi,(2007), Les macrophages régulent les différentes phases de la régénération musculaire, Equipe Interactions Cellulaire dans le Système Neuromusculaire ; Université Paris 12, Faculté de Médecine/S *n° 10, vol. 23, octobre, P794-795.*

6) Cheung K, hum P.A, Mascwell L,(2003), Delayed Onset muscle soreness, treatment strategie and performance factors, *sport med*, 33 (2), P 145-150.

7) Deslandes R., Gain H., Herve JM., Hignet R. - Principes du renforcement musculaire: applications chez le sportif. In Encyclopédie Médico-Chirurgicale : Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation. 2003, Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS. Paris 26-055-A-10,2003, p.10.

8) Ebbeling CB, Clarkson PM. (1989) Exercise-induced muscle damage and adaptation, *Sports Med*, 7(4), P 207-34.

9) Evans W.J, Cannon J.G, (1991), the metabolic effects of exercise induced muscle damage, *Exercise and Sport Sciences Review*, 01 Jan, 19, P 99-125.

10) Fukunaga T, Ito M, Ichinose Y, Kuno S, Kawakami Y, Fukashiro S, (1996) Tendinous movement of a human muscle during voluntary contractions determined by real-time ultrasonography, *J Appl Physiol*, 81(3), P 1430-1437.

11) Friden J, Leiber R.L, (2001) Eccentric exercise induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle Fibre component, *Acta physiol Scand*, 173 (3), P 321- 6.

12) Hortobagyi, T., Jeff, P., Hill, l A, Houmard, D. D., Fraser, N., Lambert, J. et Richard, G. J. (1996), Adaptive responses to muscle lengthening and shortning in hurnans. *Journal of Applied Physiology*, 80(3), 765-772.

13) Hartmann, L., Tünnemann, H. (1995), The biological basic of strength. *Fitness and Strength Training for Ali Sports*, P 12- 49.
14) Ishikawa M, Dousset E, Avela J, Kyrolainen H, Kallio J, Linnamo V, Kuitunen S, Nicol C, Komi PV, (2006), Changes in the soleus muscle architecture after exhausting stretch-shortening cycle exercise in humans, *Eur J Appl Physiol*, 97(3), P 298-306.
15) Gasq D., Labrunee M., Marque P., Dupui P., Montoya R., Zanone P.G., Tack I. - Stratégies d'élaboration du mouvement et recrutement neuromusculaire. In CROISIER J-L., CODINE P.- Exercice musculaire excentrique. Paris : Masson, 2009. p. 7-24. Pathologie locomotrice et médecine orthopédique ; 65.
16) Kniffki K.D, Mense M, Schmidt R.F, (1978), reponse of groupe IV afferent units from Skeletal muscle to stretch, contraction and chemical stimulation. *Exp brain Rev*, N° 31, P 511-22.
17) Kraemer, W. et Fleck S.(1998), Conditioning research on muscle. Ali Natural, *Muscular Development*, 35, 106-109.
18) Langberg H, Ellingsgaard H, Madsen T, Jansson J, Magnusson SP, Aagaard P, Kjaer M,(2007), Eccentric rehabilitation exercise increases peritendinous type I collagen synthesis in humans with Achilles tendinosis, *Scand J Med Sci Sports*, 17(1), P 61-6.
19) Lieber RL, Friden J, (2002), Morphologic and mechanical basis of delayed-onset muscle soreness, *J Am Acad Orthop Surg*, 10(1), P 67-73.
20) Middleton P., Puig P.L., Trouve P., Savalli L. - Le travail musculaire excentrique. Journal de Traumatologie du Sport, 2000, 17, p. 93-102.
21) Morgan D.L,(1990), New insights into the behavior of muscle during active lengthening, *Biophys J*, 57(2), P 209-21.
22) Morel M., (2015), Suivi des lésions musculaires du sportif à potentiel de rechute : place de l'imagerie. *J Traumatol Sport*. juin;32(2):81-9.
23) Middleton, P., Puig, P., Trouve, P., Roulland, R. et Fleury, P, (1993), Eccentric muscular work, muscle and tendon injuries. *Sports Medicine, 145-165.*
24) Queiros Da Silva C., Cotte T., Vicard L., Chantelot L., Ferret J. -M.- Apport du travail isocinétique excentrique dans le traitement des tendinopathies calcanéennes et des lésions musculaires de la cuisse. Journal de Traumatologie du Sport, 2005, 22, p. 219-225.
25) Roig Pull M., Ranson C. - Eccentric muscle actions: Implications for injury prevention and rehabilitation. Physical Therapy in Sport, 2007, 8, p. 88-97.
26) Roing M, Obrien K , Kirk G, Murray R, Mc Kinnon P, Shadgan B, Reid Wd, (2009), the effects of eccentric versus, concentric resistance training on muscle strength, and massin healthy adultes : a systematic review will meta analysis, *BrJ sports med*, Aug, 43(8), P 556- 68.
27) Sorichter S, Puschendorf B, Mair J,(1999), Skeletal muscle injury induced by eccentric muscle action: muscle proteins as markers of muscle fiber injury, *Exerc Immunol Rev*, N°5, P 5-21.
28) Smith, C. R et Rutherford, O. M, (1995), The role of Metabolites in Strength Training: A comparaison of eccentric and concentric contractions. *European Journal of Applied Physiology*, 71, 332-336.
29) Werren G.L, Ingalls G.P, Lowe D.A, Armstrong B.B, (2001), Excitation contraction uncoupling: major role in contraction-induced muscle injury-Exerc, *Review sport sci, Apr*, 29 (2), 82- 7.
30) Zatsiorsky, M., V, (1995), Athlete-Specific Strength. *Science and Practice of Strength Training* Champaign, IL: Human KÏnetics, P 59-82.

3- Thèse de doctorat:

1) Gael G, (2010), adaptations structurales et nerveuses du système neuromusculaire induites par l'exercice excentrique isotonique versus isocinétique, thèse de doctorat d'université, université de nantes.
2) Beaurivage M , (2000), effets d'un entraînement en musculation à l'aide de mouvements de différentes durées en phase excentrique sur l'hypertrophie des muscles du membre supérieur, memoir présenté à université du québec à trois-rivière. Comme exigence partielle de la maitrise en science de l'activité physique.