

أثر الخلايا المستشعرة على فزيولوجيا التضخم العضلي

The effect of satellite cell on the physiology of muscle hypertrophy

درويش محمد¹، عبورة رابح²، بكة فارس³Derouiche Mohammed¹, Aboura Rabah², bekka fares³¹جامعة العربي بن مهيدي - أم البواقي - derouiche.mohammed@univ-oeb.dz²جامعة الجزائر 3 - aboura.rabah@univ-alger3.dz³جامعة محمد بوضياف - المسيلة - fares.bekka@univ-msila.dz

تاريخ النشر: 2020/01/19

تاريخ القبول: 2020/12/25

تاريخ الاستلام: 2020/09/25

ملخص:

تلعب العضلات دورا مهما في مختلف الحركات التي يقوم بها الإنسان، كما أن للتدريب الرياضي تأثير متعدد ومختلف على البنية العضلية وهذا حسب نوع الرياضة الممارسة، حيث تمثل هدف هذه الدراسة في البحث عن التطور العضلي والمقصود بذلك التصنيع البروتيني (التضخم العضلي)، وما هو شائع أن تدريب القوة العضلية يؤدي إلى زيادة الكتلة العضلية، لذلك سوف نبحث عن الأسباب التي تؤدي إلى حدوث هذه الظاهرة من جهة وعن العوامل البيولوجية المتدخلة في زيادة الحجم العضلي. كذلك التطرق إلى التعرف عن دور الهرمونات في تحفيز عملية التضخم العضلي مثل هرمون (التستستيرون، الانسولين، هرمون النمو)، و التوجه نحو دراسة دور الوسيط البيبتيدي (IGF-1) الموجود على مستوى العضلات والذي يلعب دورا مهما في تحفيز عملية تصنيع البروتينات، وصولا إلى تعرف على دور الخلايا المستشعرة (cellules satellites) الموجودة في الغشاء القاعدي للخلية العضلية، حيث تلعب هذه الخلايا دورا مهما في عملية التجديد العضلي للأنسجة التالفة بعد عملية التدريب وبناء لييفات عضلية جديدة وهذا يؤدي إلى حدوث التضخم العضلي.

الكلمات الدالة: الخلايا المستشعرة، التضخم العضلي.

Abstract :

Human muscles play an important role in human movement, so sports training has a multiple effect and varies on muscle structure depending on the type of sport practiced. The objective of this study is to research muscle development, that is to say protein synthesis (muscle hypertrophy), strength training increases muscle mass, it is also to look for the causes of this phenomenon. on the one hand and the biological factors involved in the increase in muscle volume. In addition to determining the role of hormones in the process of stimulating muscle hypertrophy such as hormone (testosterone, insulin, growth hormone), we also study the role of somatomedin (IGF-1) located in the muscles that stimulates protein synthesis. We are also studying the work of satellite cells located at the basal lamina of muscle cells that play a role in the regeneration of damaged muscle fibers after training and the construction of new myofibrils and therefore muscle hypertrophy.

Keywords : **satellite cell, muscle hypertrophy**

مقدمة :

مما لاشك فيه أن ممارسة الرياضة لدى المجتمع أصبحت وسيلة حتمية للحصول على اللياقة الصحية و البدنية والجمالية، حيث أن اكتساب جانب جمالي للجسم لا يكون إلا بالممارسة الدائمة و المستمرة لمختلف أنواع الأنشطة البدنية التي من شأنها أن تحقق الغرض المقصود، ومع التطور العلمي في مجال ممارسة الرياضة تنوعت الطرق التدريبية المطبقة الموجهة نحو تحضير و إعداد الرياضيين في شتى الاختصاصات الرياضية منها الفردية و الجماعية.

وما هو ملفت للانتباه هو توجه فئة كبيرة من الشباب نحو ممارسة التقوية العضلية هادفين بذلك البحث عن أجسام جمالية تتميز بعضلات مفتولة. أدى ذلك إلى ظهور طرق تدريبية متعددة و متنوعة من حيث التطبيق و الأحمال المقترحة التي من شأنها أن تحدث تضخم عضلي و هو النمو المتزايد لمختلف العضلات المقصودة في عملية التدريب.

و هناك عوامل عديدة تتدخل في تحديد تطور التضخم العضلي، حيث نلاحظ أن الألياف العضلية ذات التقلص العضلي السريع تتضخم أكثر من الألياف ذات التقلص العضلي البطيء، كما يسمح التمدد العضلي بخفض هدم البروتينات و يرفع من نسبة تصنيعها لدى بعض أنواع الحيوانات، و ينتج عن ذلك بعض الأضرار الميكانيكية في النسيج العضلي عند التقلص اللامركزي (excentrique) وعند تطبيق حمولة لها تأثير على زيادة و تحفيز التضخم العضلي خاصة تطبيق التدريب العالي الشدة للقوة العضلية(Phillips S.M, 2000, P 186).

كما يلعب الجهاز العصبي دور مهم في تدريبات القوة العضلية و هذا في المراحل الأولى من التكيف، و بعد حوالي 6 إلى 7 أسابيع من التدريب تصبح عملية التضخم العضلي أكثر وضوح و بالتالي فإن التغير النوعي في البروتينات، نوع الألياف و نسبة تركيز تصنيع البروتينات ينتج مبكرا و سريعا و هذا يطرح بوضوح العلاقة بين التكيفات العصبية و التضخم العضلي عند تطبيق القوة . (Salle D.G, 1992, P 249).

لوحظ في مجموعة من الدراسات أن أكثر الاستجابات الهرمونية عند تدريب القوة تتمثل في الهرمونات البنائية (testostérone, GH, Somatomédine) حيث تعتبر هذه الهرمونات هي المسؤولة عن بناء بروتين العضلات و الخلايا المختلفة في أنسجة الجسم (Kokalas N et al, 2004, P 129)، كما أن هناك استجابات أخرى للهرمونات ظهرت بعد تدريب المقاومة (Cortisol, Insuline, globulin) التي لوحظ زيادة في تركيزها و علاقات فيما بينها (Rastaad T, et al , 2000, P 122).

بالتالي فإن تدريب القوة يحتوي 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 العضلي. (Wilmore J.H et Costil D.L, 2006, P 167).

1- المصطلحات:

1-1 التدريب الرياضي: حسب ماتيفيف، (1972) "هو كل ما يتعلق بالتحضير البدني، التقني، التكتيكي، العقلي و الذهني للاعب باستخدام مختلف التمرينات البدنية . (Weineck J, 1997, P 15).

2-1 بيولوجيا: هي كلمة يونانية وتعني (علم الحياة)، بيو: (حياة)، لوجوس: (علم). استخدم هذا المصطلح هو الطبيب الألماني (تريفيرانوس) في سنة 1804م أشاعه العالم (لامارك) ويقصد بالكائنات الحية النباتات و الحيوان وما يتبع ذلك من دراسات تفصيلية فأصبحت البيولوجيا تشمل علم التشريح و الفسيولوجيا (وظائف الأعضاء) و البكتريولوجيا و الحيوان و النبات و الأجنة الوراثية.

3-1 التضخم العضلي: وهو زيادة كتلة العضلة ومقطعها العرضي، وفي الواقع زيادة في محيط العضلة تكون بسبب زيادة عرض الألياف العضلية المكونة للعضلة، يحدث نمو حجم العضلة و تضخمها جراء التدريب البدني ذي العبء الزائد خاصة تدريبات الأثقال . (هزاع محمد الهزاع، 2005، ص 02).

2- أهداف الدراسة :

تمثلت الأهداف الرئيسية من هذه الدراسة في العناصر التالية :

➤ التطرق إلى أسباب التضخم العضلي وذلك بدراسة العناصر الأساسية التي من شأنها أن ترفع من حجم العضلة.

➤ دراسة عوامل النمو و التضخم العضلي بالتطرق إلى دور الهرمونات خاصة كل من هرمون (النمو GH، و الوسيط الببتيدي IGF-1، التستسترون) في بناء و زيادة تصنيع البروتينات على مستوى النسيج العضلي .

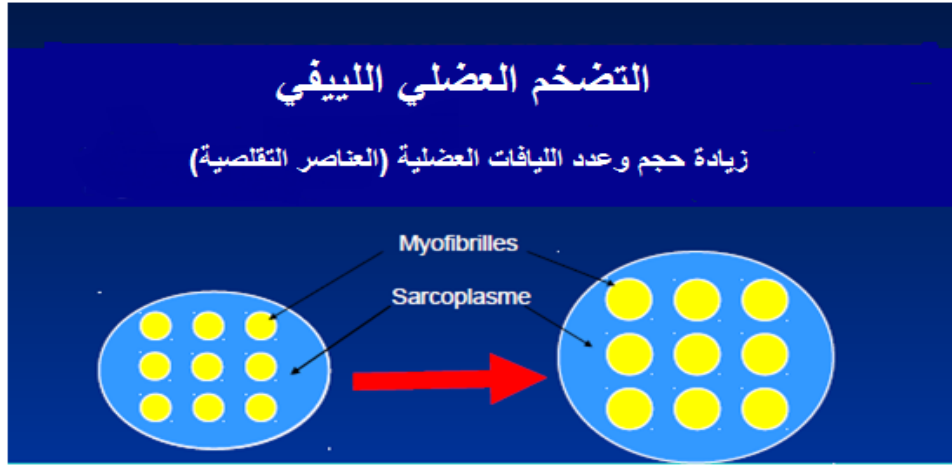
➤ التعرف على كل من دور الخلايا المستشعرة (cellules satellites) و الخلايا البلعمية (macrophage) في إعادة بناء النسيج العضلي المتمزق أو في حالة تلف.

3- أسباب التضخم العضلي :

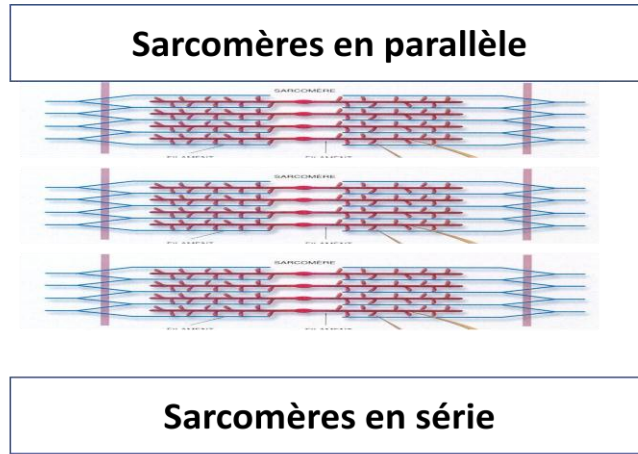
1-3 زيادة عدد اللييفات العضلية :

تحتوي العضلة على أحزمة من الألياف العضلية التي بدورها تتكون من مجموعة من اللييفات وهي تتابع مجموعة من الوحدات التقلصية في شكل سلسلة و متحدة فيما بينها عند عملية التقلص العضلي. تدريب القوة المتواصل عند حمولة قدرها (60 إلى 80% من أقصى تكرار) يؤدي ذلك إلى زيادة عدد و حجم اللييفات العضلية حيث يعتبر ذلك السبب الرئيسي لعملية التضخم العضلي. هذه الزيادة تكون على مستوى الليف العضلي كلما كان عدد اللييفات العضلية معتبر كلما زاد حجم الليف العضلي.

يؤدي تدريب القوة إلى زيادة عدد الوحدات التقلصية (sarcomère) في اللييفات العضلية يرتفع في شكل سلسلة أو بطريقة متوازية على حسب الوحدة التقلصية الموجودة، غير أن زيادة عدد الوحدات التقلصية بالتوازي يعتبر العامل الوحيد الذي يرفع من القوة القصوى، حيث أن تركيز اللييفات يرتفع مما يطور القدرة على تطبيق قوة أكبر وأكثر، أما بالنسبة لزيادة عدد الوحدات في شكل سلسلة يؤدي إلى تطوير السرعة.



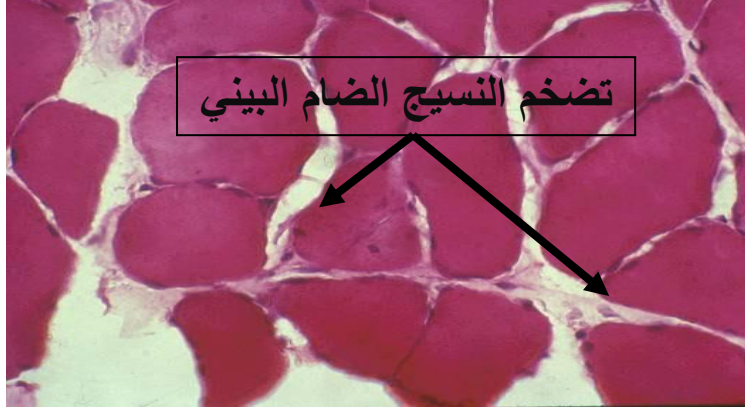
شكل رقم (01): عملية التضخم العضلي السرکوبلازمي و الليفي .



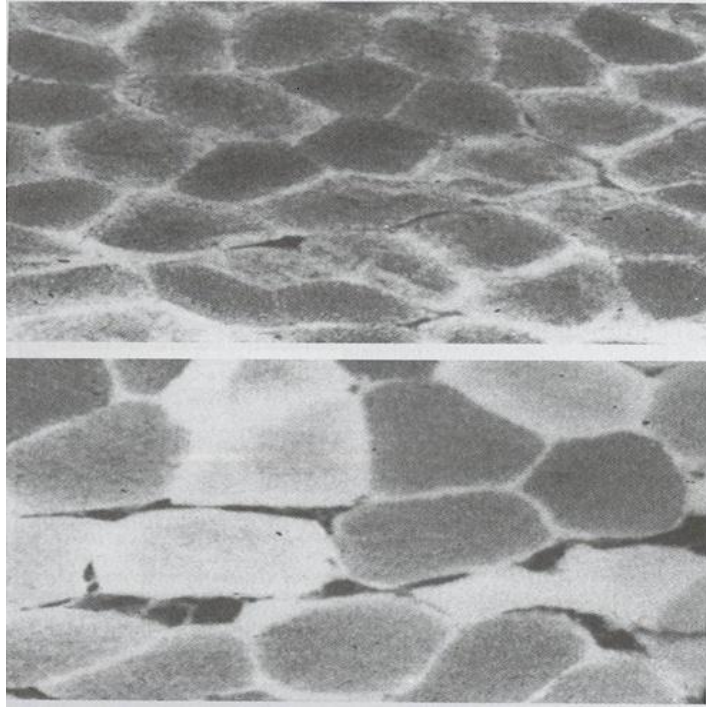
شكل رقم (02): زيادة عدد الوحدات التقلصية (sarcomère) في شكل سلسلة و في شكل متوازي.

2-3 تطور النسيج الضام البيني :

يغلف النسيج الضام البيني العضلة ككل و الحزم العضلية و الألياف العضلية ضمن ما يسمى بثلاث طبقات على التوالي هي (الإبيميوزيوم، البيريوميوزيوم، الأندوميوزيوم). كما يمثل هذا النسيج حوالي 13% من الوزن الإجمالي للعضلة، هذه النسبة تعتبر ثابتة لدى رياضيي كما الأجسام، وهذا يدل على أن زيادة سمك النسيج الضام يؤثر على الحجم العضلي . كما يساهم في الكمال البنيوي والوظيفي للأوتار والأربطة، هذا التكيف يسمح بحماية العضلة.



شكل رقم (03) : يوضح حدوث تضخم النسيج الضام البيني .



شكل رقم (04): يوضح التضخم العضلي للألياف العضلية تحت المجهر الإلكتروني .

1-3 تطور الأوعية الدموية :

عدد الشعيرات الدموية في الليف العضلي يكون مضاعف لدى رياضي كمال الأجسام مقارنة بالأشخاص العاديين وهذا لا يكون إلا بعد عمل مطول من تدريب القوة بحمولات تتجاوز 50% من أقصى تكرار. زيادة عدد الشعيرات يحفز تدفق دموي موضعي معتبر مما يؤدي إلى توسع الشعيرات الدموية المحيطية (Cayrac C, 2000, P 02).

2-3 زيادة السائل البين الخلوي (الساركوبلازم) :

التدريب الخاص بكمال الأجسام يؤدي إلى تراكم حمض اللبن. وهذا يؤدي إلى انخفاض في درجة PH أي وسط حامضي، واختلال في القابلية الغشائية مع زيادة السائل البين خلوي مما يسمح بزيادة في حجم الليف العضلي. (Cayrac C, 2000, P 02). التدريب من النوع اللاكتيكي وبشدة متوسطة (الجلكزة اللاهوائية) حوالي 10-12 من التكرارات القصوى يستهلك الكمية المعتبرة من الجليكوجين مع حموضة

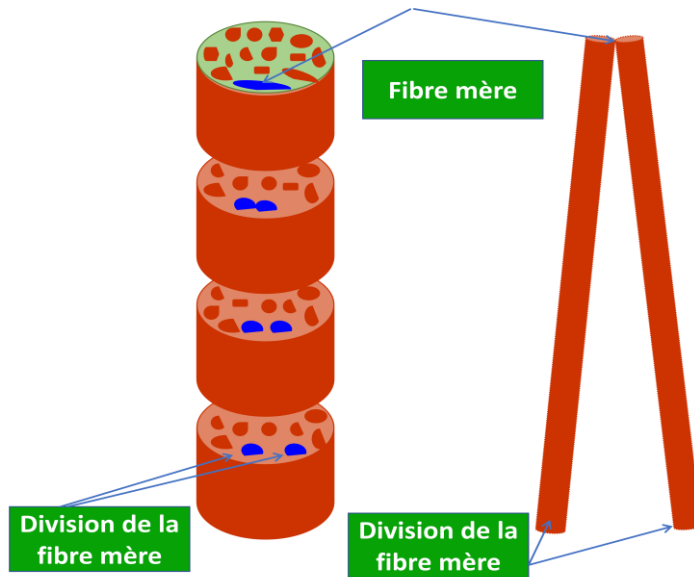
عالية وإنتاج حمض اللبن، هذه الظاهرة تؤدي إلى زيادة قابلية الغشاء الخلوي نتيجة لذلك تهجر كميات من الماء داخل الخلية ، هذا التدفق يؤدي إلى إعادة تصنيع الجليكوجين مما يحفز زيادة حجم العضلة حيث أن 1غ من الجليكوجين يحتفظ بـ 2,7غ من الماء. (Sanchez E, 2010, P7).

3-3 زيادة عدد الألياف العضلية (انقسام الألياف):

انقسام الألياف العضلية يتمثل في حصول شق طولي على مستوى الليف نظرا للتدريب الشاق و المتواصل للقوة العضلية . حيث أشار (Mac Dougall) إلى فرضية انقسام الألياف العضلية وهذا راجع إلى وجود الخلايا المستشعرة (cellules satellites) التي تلعب دورا كبيرا في نشوء ليف عضلي جديد متوازي مع الليف العضلي الأم. تم تأكيد هذه النظرية على الفئران و القطط . (Cayrac C, 2000, P 04) .

دلت بعض الدراسات لدى الحيوانات على حدوث عملية انقسام الألياف العضلية مما يؤدي إلى تضخم الحجم العضلي وهذا ما لوحظ في تجربة أجريت على القط بعد مدة من التدريب بشدة عالية حيث يعمل هذا القط على تحريك حمولة ثقيلة هذا ما سمح بتطوير ملاحظ للقوة مع انقسام بعض الألياف العضلية.

و في دراسة أخرى كشفت عملية الانقسام لدى الإنسان بعد مدة من التدريب الشاق للقوة والمرتفع الشدة، تم أخذ 12 شخص مع تدريب لمدة 12 أسبوع، أدى هذا التدريب إلى زيادة ملاحظة في عدد الألياف العضلية في اليد (biceps brachial) ، هذا يدل على حدوث عملية الانقسام ولكن لبعض الأشخاص فقط وفي ظروف تدريبية خاصة، حيث تعمل الخلايا المستكشفة والمتحركة على المشاركة في توليد ونسخ ألياف عضلية جديدة هذه الخلايا تنشط أثناء حدوث تمزقات عضلية متسلسلة، التي تنشط وتحفز بحيث تتكاثر وتهجر نحو الأماكن المتضررة ، بعد ذلك إما أن تنقسم مع اللييفات الموجودة أو تتحول إلى لييفات عضلية جديدة ((Wilmore J.H et Costil D.L, 2006, P 169).



شكل رقم (05): يوضح كيفية حدوث انقسام الليف العضلي الأم تحت تأثير تدريب القوة العضلية



شكل رقم (06): مقطع عرضي يوضح انقسام الليف العضلي .

4- عوامل النمو و التضخم العضلي:

1-4 تأثير الهرمونات :

العوامل المطبقة من أجل تطوير الكتلة العضلية تتمثل في التغذية و النشاط البدني المتمثل في تدريب القوة العضلية . حيث تتدخل مجموعة من الهرمونات من بينها (الأنسولين، التستستيرون، هرمون النمو...الخ) التي من شأنها أن تراقب عملية النمو العضلي. كما توجد هرمونات أخرى التي من شأنها أن تتدخل أيضا في عملية التضخم العضلي (IGF1، الميوستاتين،...) و التي تلعب دورا محليا على مستوى العضلات و التي تراقب أيضا الخلايا المستشعرة التي تتدخل مباشرة في عملية البناء العضلي (Ferry A, 2006, P 107).

1-1-4 هرمون النمو (GH) و السوماتوميدين (IGF-1) :

يثير هرمون النمو (GH) البناء و النمو في الأنسجة الهيكلية و اللينة حيث يرفع هذا الهرمون عدد الخلايا بتنشيط الانقسام الخلوي و يمنع عملية الموت المبرمج للخلايا كما يزيد من حجم الخلايا بزيادة بناء البروتين، إذ أنه يثير جميع عمليات بناء البروتين و يثبط عمليات تكسير البروتين. و يرفع هرمون النمو من عملية سحب الأحماض الأمينية من قبل الخلايا و بذلك يقلل من مستواها في الدم.

التأثيرات البنائية لهرمون النمو لا تعمل مباشرة على الخلايا بل عن طريق مرافقة وسيط بيبتيدي يدعى (Somatomédine) الذي يتكون من نوعين هما (IGF-I et IGF- II)، النوع المرتبط بزيادة (GH) هو (IGF-I) حيث يحفز هرمون النمو (GH) بناء (IGF-I) الذي يتكفل باستثارة عمليات البناء و النمو في الخلايا و يعتبر الكبد المصدر الرئيسي لبناء و إفراز (IGF-I) في الدم الذي ينتج كثيرا إن لم نقل أنه في معظم أنسجة الجسم (Sherwood L, 2001, P 98).

نوعية التأثير الخاص بهرمون النمو على العضلة غير موضح بطريقة جيدة مجموعة من الأبحاث تشير إلى أن الدور التضخيمي لهرمون النمو (GH) يؤدي إلى زيادة واضحة في هرمون السوماتوميدين (Somatomédine)، المعالجة بهرمون النمو ترفع من التركيز النسيجي لـ (ARN_m) الرسول المشفر من أجل السوماتوميدين (IGF-1, IGF-2) و في دراسة تدل على أن تركيز كل من (IGF-1, IGF-2) يرتفع تحت تأثير العمل العضلي، هذه المعطيات تحدد أن التضخم العضلي ينتج من طرف هرمون السوماتوميدين في العضلات الذي ينتج من نشاط هرمون النمو (Guezennec C.Y, 1990, P 290).

من بين عوامل النمو الأخرى و هي هرمونات محلية التي من شأنها أن تتدخل في عملية التضخم العضلي نجد (HGF, FGF, IGF-1, myostatine). توجد دراسات عديدة تطرقت إلى دور الوسيط الببتيدي (IGF-1) . حيث

توجد مجموعة متعددة من البروتينات الدورية التي تنتج استجابة لهرمون النمو بينما توجد مجموعة أخرى غير دورية وتنتج محليا من طرف العضلة فقط استجابة لإشارات التجديد أو التمرينات العضلية، عند وضع العضلة تحت حمولة ميكانيكية يكون هناك إنتاج معتبر للوسيط البيبتيدي (IGF-1) وهذا يعتبر بداية حدوث التضخم العضلي.

قام مخبر مختص بعلم العضلات (la myologie) في جامعة باريس 5 بالبحث عن تحديد دور الوسيط البيبتيدي (IGF-1) على العضلة الهيكلية للإنسان. حيث تم نزع خلايا مستشعرة من العضلة والتي أصبحت خلايا جدعية (myoblastes) تنقسم فيما بينها من أجل تشكيل الخلايا المتعددة النواة (myotubes) أي ألياف عضلية صغيرة في مرحلة التشكل إلا أن هذه العملية أقل دفعا وتطورا في المختبر مقارنة ما يحدث على مستوى الليف العضلي. كما أن الوسيط البيبتيدي (IGF-1) لا يلعب أي دور مهم على عملية تكاثر الخلايا الجدعية الوحيدة النواة، و من جهة أخرى يقوم هذا الوسيط بزيادة حجم الخلايا القنوية المتعددة النواة (myotubes) و بالتالي عملية التصنيع البروتيني. (Ferry A, 2006, P 110)

توصلت كذلك دراسات المخبر أن الوسيط البيبتيدي (IGF-1) يطبق تأثير جزئي والمتمثل في تحفيز الخلايا المستشعرة عن طريق عامل الذوبان المحلي وهو الأنترلوكين 13 (IL 13). لدى الإنسان الوسيط البيبتيدي (IGF-1) يتثبت على مستقبلات خاصة به أين يكون هناك إشارات تؤدي إلى إنتاج الأنترلوكين 13 (IL13) الذي يحفز الخلايا المستشعرة. تنقسم الخلايا الجدعية (myoblastes) مع الليف العضلي، ويقوم الوسيط البيبتيدي (IGF-1) بمراقبة التصنيع وكذلك الهدم البروتيني.

كما أن الوسيط البيبتيدي (IGF-1) لا يعتبر العامل الوحيد المسؤول عن عملية النمو العضلي حيث يوجد عامل آخر للمراقبة العضلية وهو الميوسستاتين (myostatine, GDF-8) وهو يعتبر معدل سلبي للكتلة العضلية. لدى الفئران عند القيام بكبح أو تثبيط الميوسستاتين يؤدي ذلك إلى حدوث تطور عضلي معتبر، حيث تصبح الألياف أكثر حجما وعددا وهذا يعطي فكرة في ميدان المنشطات الدوائية أو الوراثة. (Ferry A, 2006, P 111)

4-1-2 هرمون التستسترون:

إن تواجد المستقبلات الخاصة بهرمون التستسترون في العضلات تدل على أن هذا الهرمون يؤثر مباشرة على هجرة المركب هرمون- مستقبل نحو النواة وهذا يؤدي إلى زيادة في إنتاج ARN m الرسول المسؤول عن تصنيع البروتينات. طبيعة البروتينات الناتجة من حركة الهرمونات الستيروئيدية الأندروجينية تعتبر غامضة، ومن جهة أخرى دلت دراسة لدى الذكور البالغين على أن تأثير هرمون التستسترون ينتج عنه نقصان في هدم البروتينات وأكثر خصوصا انخفاض في أكسدة الأحماض الأمينية وهذا له تأثير على زيادة تصنيع البروتينات (Fahey T.D et al, 1976, P32).

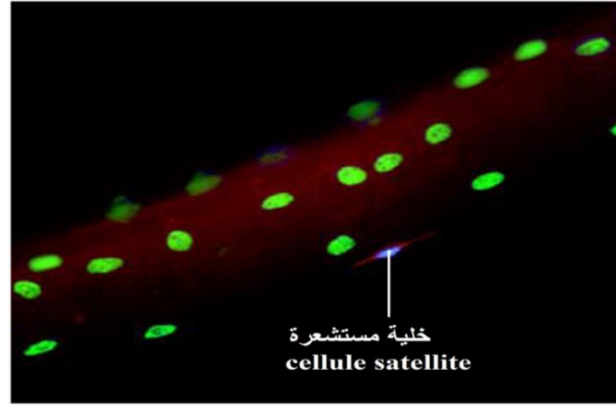
كما يعمل هرمون التستسترون على الرفع من الكتلة العضلية وهذا بالتحفيز الموضعي لتصنيع البروتينات، التضخم العضلي المستمر تحت التدريب العضلي للمقاومة يفسر التأثير البنائي المتميز للتستسترون حتى وإن لم يكن هناك زيادة في التركيز البلازمي لهذا الهرمون تحت تأثير شدة التدريب (Monod H, Flanderois R, 2003, P 175).

2-4 الخلايا المستشعرة (cellules satellites):

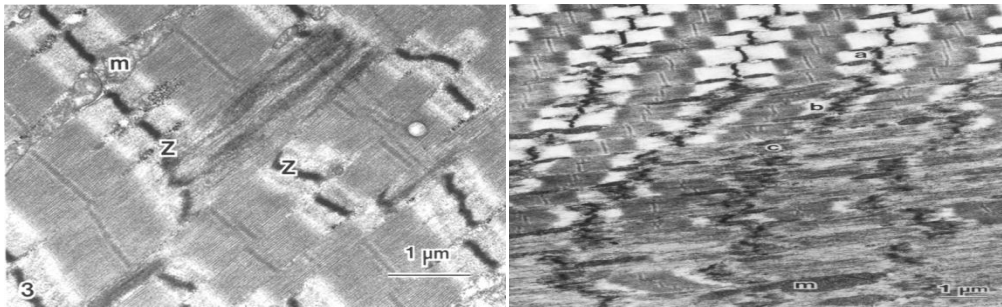
تتواجد هذه الخلايا المستشعرة ملتصقة مع الألياف العضلية حيث تلعب دورا مهما في تجديد الأنسجة العضلية التالفة بعد حدوث التلف أو التمزقات العضلية، كما تشارك أيضا في عملية النمو العضلي في مرحلة بعد الولادة. زيادة الحجم العضلي يمكن أن يكون بطريقتين أولا عن طريق التضخم العضلي (زيادة سمك الليف العضلي) أو عن طريق انقسام الألياف العضلية، عند كلا الحالتين تتدخل الخلايا المستشعرة. أثناء حدوث الأضرار العضلية أو عند الحصة التدريبية تنتج مجموعة من الرسائل وتستقبل من طرف الخلايا المستشعرة التي من شأنها أن تنشيط وتكاثر هذه الخلايا، بعد ذلك تنقسم مع الليف مما يؤدي إلى حدوث التضخم العضلي، وظهور شيئا فشيئا أنوية جديدة على مستوى الليف العضلي. تقوم الأنوية بمراقبة تصنيع البروتينات المهمة في تصنيع وحدات تقلصية جديدة بالتوازي (Ferry A, 2006, P 108)(sarcomère).

لدى العضلة المخططة الهيكلية قدرة على التجديد بعد حدوث تمزقات وهذا بفضل الخلايا المستشعرة (cellules satellites)، وهي الخلايا الرئيسية الجذعية العضلية الناضجة، القادرة على التجديد الذاتي والمساهمة في إعادة تصنيع الألياف العضلية (Collins C.A et al,2005, P295).

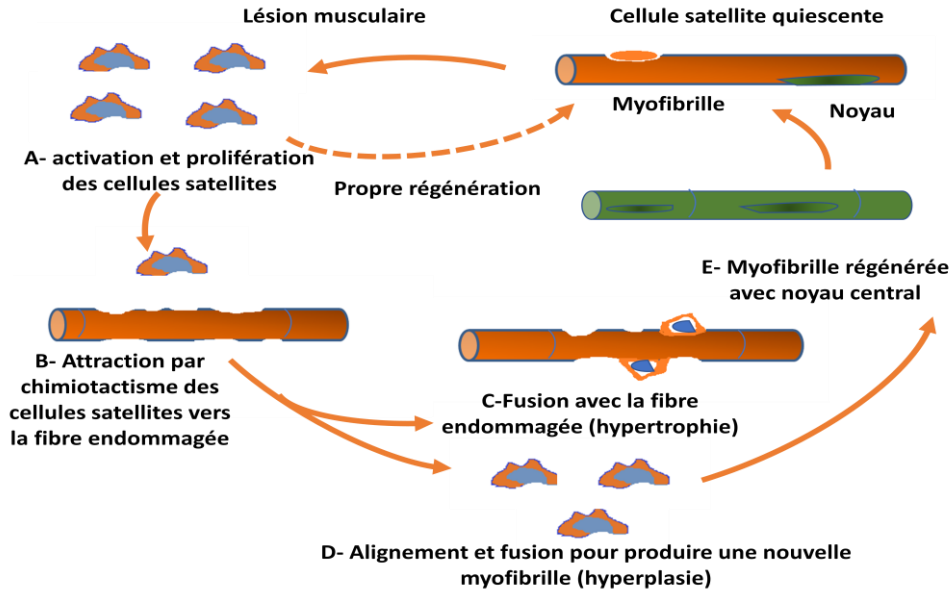
عند حدوث التمزقات، الخلايا المستشعرة تنشط وتحفز، حيث تصبح الخلايا الرائدة العضلية، تتكاثر وتمتد وتنقسم فيما بينها أو مع الألياف العضلية ما ينتج عن ذلك استعادة سلامة الأنسجة. التواجد الكبير للخلايا البلعمية (macrophages) يلاحظ خلال كل مراحل التجديد، وهذا يدل على الدور الكبير والموسع لهذه الخلايا المتمثل في بلع بقايا الأنسجة بسبب التمزقات الحاصلة (Chazaud B et al, 2007, P795)



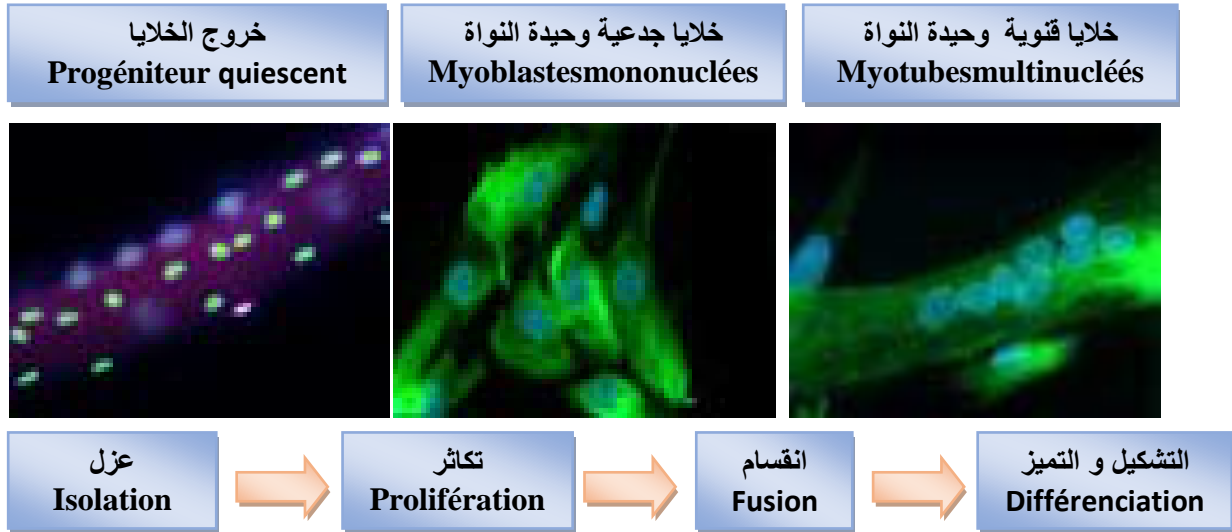
شكل رقم (07) : يوضح مكان توضع الخلية المستشعرة على مستوى غشاء الليف العضلي حسب (Ferry A, 2006)



شكل رقم (08): صورة تحت المجهر الإلكتروني للييف عضلي في حالة إختلال وتلف في الخطوط Z بعد تمرين عضلي لا مركزي حسب (Friden et al, 1984).



شكل رقم (09): مخطط يوضح مختلف مراحل تدخل الخلايا المستشعرة في عملية التجديد العضلي حسب (Wilmore J.H et Costil D.L, 2006).



3-4 الخلايا البلعمية (les macrophages) وعملية التجديد العضلي:

في دراسة على مستوى المخبر تم التوصل إلى أن العلاقة بين الخلايا الجذعية العضلية و البلعمية ينتج عنها تأثير بيولوجي مختلف، أولاً: الخلايا الجذعية تجذب بخاصة الخلايا الدموية البيضاء الغير محببة الدورية (monocytes) وهذا بتدخل 5 طرق للانجذاب الكيميائي وهي (CCL2, CCL22, CX3CL1 ou Fractalkine, VEGF, vascular endothelial growth factor, système de l'urokinase). ثانياً: التنبيه المشترك يرفع من نشاط الانجذاب الكيميائي لنوعين من الخلايا. ثالثاً: الخلايا البلعمية تحفز نمو الخلايا الجذعية بتطبيق الجرعة التابعة، وهذا بإفراز مواد ذائبة جينية، ومن جهة أخرى حدوث اتصال مباشر خلية - خلية من أجل حماية الخلايا الجذعية من الموت (Chazaud B et al 2003, P36).

مثل الكريات البيضاء المعتدلة (Neutrophils) تدخل الخلايا البلعمية إلى الأنسجة المتمزقة حيث تنتج مجموعة مختلفة من الليزوزومات التي من الممكن أن تزيد من حدة التمزقات النسيجية. الاستجابة الخطية للخلايا البلعمية القصوى تستمر إلى غاية 7 أيام من التمرينات القصوى وتتأخر كلما بقيت المؤشرات البيولوجية للتمزقات العضلية (الآلام العضلية و تحرير الأنزيمات النسيجية يستمر من يوم إلى 3 أيام بعد النشاط البدني). إن هجرة خلايا المونوسيت (monocytes) يمكن أن ينتج عنه انخفاض في عددها على مستوى الجهاز الدوري يوم إلى ثلاثة أيام بعد مجموعة من التمرينات (Gleeson M et al, 1995, P 137).

و في ظروف الالتهاب تعمل الخلايا البلعمية (macrophage) على إفراز هرمون (PGE) الذي يسبب أيضا ظاهرة الآلام العضلية المتأخرة (DOMS). في الأبحاث الأخيرة تم اختبار أي نوع من الخلايا البلعمية التي تطبق في عملية التجديد العضلي، وما هو ملاحظ أن الخلايا البلعمية كثيرة التقلب و التغيير. تواجد عينات تحتية لخلايا المونوسيت الدورية يرفع من درجة تعقيد هذا الجهاز. حيث تستخدم خلايا المونوسيت الرئيسية Gr-1⁺Ly6⁻ (Gr-1⁺CD14⁺CD16⁻CCR2⁺CX3CR1⁺ في الأنسجة أثناء حدوث الالتهابات، بينما العينات تحتية من هذه الخلايا (Gr-1⁻CX3CR1^{hi}CCR2-CD14^{lo}CD16⁺) ترتفع في بعض الحالات المرضية المزمنة. (Gerdon S, Taylor P.R, 2005, P 60).

بعد حدوث تمزقات قصبية (عند حقن النوتوكسين notexine) في الساق الداخلية للفئران تتواجد خلايا المونوسيت (البلعمية) في العضلة عند اليومين الأولين وهي Gr-1⁺CX3CR1^{lo}. بعد ذلك تنخفض لتصبح عينة Gr-1⁻ CX3CR1^{hi} أكثر تواجدا في اليوم الثالث. وبمساعدة عملية التتبع الخاص للعينات تحتية للمونوسيت الدورية Gr-1⁺ CX3CR1^{lo} التي تتغير فيما بعد من الطبع الوراثي على مستوى العضلة لتصبح Gr-1⁻CX3CR1^{hi} الخلايا المستخدمة Gr-1⁺ CX3CR1^{lo} تمثل نوع غير قابل للتكاثر وهي المؤيدة للالتهاب، بينما المونوسيت من النوع Gr-1⁻ CX3CR1^{hi} لديها عمل ضد الالتهاب مع التكاثر وهذا يفسر العدد الكبير للخلايا البلعمية المتواجدة في العضلة أثناء مرحلة التجديد. هذه النتائج تدل على أن خلايا المونوسيت الالتهابية تستخدم من طرف العضلة لتصبح فيما بعد خلايا مونوسيت بلعمية ضد الالتهاب أثناء عملية التجديد (Chazaud B et al, 2007, P795).

دائما في المختبر تم التوصل إلى أن الخلايا البلعمية الالتهابية Gr-1⁺CX3CR1^{lo} المستخدمة تحفز بقوة تكاثر الخلايا الجذعية العضلية مع كبح عملية التمايز لهذه الخلايا، وعلى العكس الخلايا البلعمية ضد الالتهاب Gr-1⁻ CX3CR1^{hi} تتواجد بعد التغيير في الطبع الوراثي وهذا مؤشر قوي للتكون العضلي و انقسام الخلايا الجذعية العضلية.

في الجسم الحي كبح استخدام خلايا المونوسيت في العضلة عن طريق الإنقاص من المونوسيت الدورية وهذا بحقن مادة التوكسين الديقثيري لدى الفئران يوقف كليا عملية التجديد العضلي وهذا يوضح الدوري الرئيسي لهذه الخلايا في عملية إصلاح النسيج. الإنقاص من الخلايا البلعمية البين عضلية أثناء فترة التجديد يخفض من سمك اللييف العضلي الجديد، هذا يؤكد تأثير الخلايا البلعمية ضد الالتهاب على عملية التمايز و انقسام الخلايا الجذعية. مجموع هذه الدراسات سمح بوضع نمط لحركة الخلايا البلعمية أثناء عملية التجديد العضلي وإبراز التنوع في العلاقة بين الخلايا البلعمية و الخلايا الجذعية (Chazaud B et al, 2007, P795).

خاتمة:

تدريب القوة يؤدي إلى زيادة في حجم العضلة وهذا ما يطلق عليه بالتضخم العضلي ، حيث أن نمو وتطور الكتلة العضلية يرجع إلى عدة أسباب التي من شأنها أن تغير من حجم العضلة وتزيد من قوتها، وبالتالي فإن من نتائج التدريب العضلي هو حدوث بعض الأضرار الميكانيكية في النسيج العضلي، تتمثل هذه الأضرار في تمزق غشاء الألياف (الساكولام) 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)، من هنا تبدأ رحلة التصنيع البروتيني بتدخل مجموعة من الهرمونات والخلايا الموجودة على مستوى النسيج العضلي.

يلعب كل من هرمون النمو GH، و هرمون التستستيرون أدورا كبيرة في تحفيز عملية التصنيع البروتيني على مستوى النسيج العضلي وبالتالي زيادة عدد اللييفات العضلية أي الرفع من عدد خيوط الأكتين والميوزين من جهة، إضافة إلى تدخل الخلايا المستشعرة (cellules satellites) و الخلايا البلعمية (macrophages) في عملية تجديد النسيج العضلي الذي يكون في حالة تلف و فساد، تدخل هذه الخلايا يؤدي إلى تجديد وزيادة عدد اللييفات العضلية التالفة وهذا من شأنه أن يرفع من الكتلة العضلية .

قائمة المراجع

- 1) هزاع بن محمد هزاع، التضخم العضلي، جامعة الملك سعود، 2005.
- 2) **Cayrac C**, les mécanismes de l'hypertrophie, DES préparation physique –LE CESA, 2000.
- 3) **Collins CA, Olsen I, Zammit PS, et al.** Stem cell function, self-renewal, and behavioral heterogeneity of cells from the adult muscle satellite cell niche. *Cell*, 2005 ; 122 : 289-301.
- 4) **Chazaud B, Sonnet C, Lafuste P, et al.** Satellite cells attract monocytes and use macrophages as a support to escape apoptosis and enhance muscle growth. *J CellBiol*2003 ; 163 : 1133-43.
- 5) **Ferry Arnaud**, Facteurs de croissance et développement musculaire, Troisième Conférence Nationale Médicale Interfédérale , UMR 787 Groupe Myologie et Université Paris 5, Paris, 2006.
- 6) **Fahey T.D, Ralph R, Mougnee P, Nagel J, Mort ara S**, serum testosterone body composition and strength of young adults, *Med Sci sport*, N°8, 1979, P 31-34.
- 7) **Guezennec C.Y** , données récentes sur l'influence de l'exercice physique sur le métabolisme protéique . nutritionnelles et rol des hormones, *Science et sport*, N°4, 1990, P 281- 291.
- 8) **Gleeson M, Almey J, Brooks S, Cave R, Lewis A, Griffiths H**,Haematological and acute-phase responses associated with delayed-onset muscle soreness in humans, *Eur J ApplPhysiol*, N°71, 1995, P 137-42.
- 9) **Gordon S, Taylor PR.** Monocyte and macrophage heterogeneity. *Nat Rev Immunol*2005 ; 5 : 953-64.
- 10) **Kokalas N, Tsalis G, Tsigilis N, Mougios V**, hormonal responses to three training protocols in rowing, *Eur J ApplPhysiol*, N° 92, 2004, P 128- 132.
- 11) **Monod H, Flanderois R**, bases physiologiques des activités physiques et sportives, Ed Masson, Paris, 2003.
- 12) **Phillips StuartM**, Short-term training: when do repeated bouts of resistance exercise become training, *Can. J.Appl.Physiol*, N°25, 2000, P 185-193.
- 13) **Raastad T, bjoro T, and Hallen J**,Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise, *Eur. J. Appl. Physiol*, 82,2000, P121-128.
- 14) **Salle, D.G**, Neural adaptations to strength training. In:*Strength and Power in Sport*, Komi P. V, Ed Oxford:Blackwell Scientific Publications, 1992, P 249-265.
- 15) **Sherwood L**, human physiology from cells to systems (4th Ed). Thomson Brooks/ Cole, USA , 2001.
- 16) **Sanches E**, Optimisation de l'hypertrophie musculaire, Diététicien nutritionniste du sport, 2010.
- 17) **Wilmore J.H, Costil D.L**, 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, 2006.
- 18) **Weineck J**, manuel d'entrainement, Ed Vigot, Paris, 1997.