

TEMU 4 SISTEM NEUROMUSKULAR

Sistem kerja saraf dan otot tidak dapat dipisahkan, dimana kerja keduanya harus memberikan aksi dan reaksi yang sesuai guna menghasilkan suatu gerakan yang terkoordinasi dan fungsional. dalam temu ini akan membahas struktur otot dan saraf serta adaptasinya terhadap latihan.

A. Sistem Muskular

Selama latihan memerlukan kerja otot sevara berulang-ulang, kuat, dan cepat untuk menghasilkan performa yang diharapkan setiap masing2 gerak fungsionalnya. maka dari itu kita perlu mengetahui sisi dalam dari otot untuk meliha bagaimana otot dapat memproduksi tenaga selama latihan?. Struktur otot merupakan struktur organisasi jaringan yang cukup baik susunannya berasal dari kumpulan serabut otot dan serabut otot merupakan kumpulan dari myofibril (serabut otot kecil). Struktur otot yang melekat dengan tulang disebut dengan tendon yang kaya akan jaringan ikat. Otot dapat berkontraksi dikarenakan dalam 1 myofibril terdiri dari actin dan myosin yang bergerak berdekatan.

1. Struktur Otot

Dasar organisasi otot. Serabut otot membentuk 1 kelompok dalam satu fasikulus, dan membentuk otot dengan fasikulus lainnya. Seiap serabut otot terdiri dari beberapa myofibril. Myofibril terbentuk oleh protein actin (filament tipis) dan myosin (filament teba) sehingga membentuk 1 unit sarkomer. Ketika aktin dan myosin bekerja maka terjadilah pemendekan dan pemanjangan dari otot.

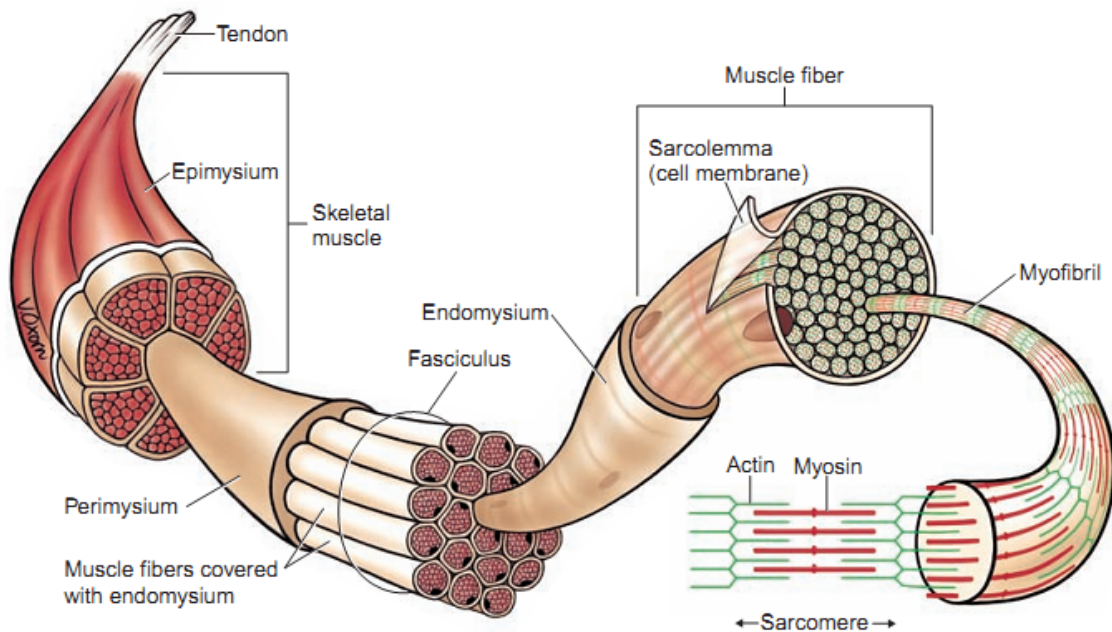


Figure 3-2. Basic organization of skeletal muscle. Muscle fibers are grouped together in a fasciculus, and many fasciculi form the intact muscle. Each muscle fiber contains a bundle of myofibrils. The myofibril proteins of actin (thin filaments) and myosin (thick filaments) make up the contractile unit, or sarcomere, which runs from Z line to Z line. Different bands exist on the basis of whether actin and/or myosin overlap in different stages of shortening or lengthening.

Jaringan ikat berperan penting dalam kinerja otot skeletal, mulai dari perlekatan tendon dengan tulang hingga ke sarkomer. Jaringan ikat dalam otot ditujukan untuk memisahkan antar serabut otot dan myofibril.

Fungsi lapisan jaringan ikat terhadap performa:

1. Lapisan Jaringan ikat penghubung perut otot dengan tendon : bertujuan untuk membantu tenaga dari perut otot dikirimkan ke tendon yang digunakan untuk menggerakkan tulang.
2. Lapisan Endomysium bertujuan mencegah pemecahan rangsangan dari 1 serabut otot ke serabut otot lainnya (korsletting).
3. Bertujuan sebagai penahan elastisitas otot untuk mempertahankan tenaga dan power dalam siklus panjang-pendek (*stretch-shorthening cycle*) atau disebut juga mekanisme ketapel (recoil of a rubber band).

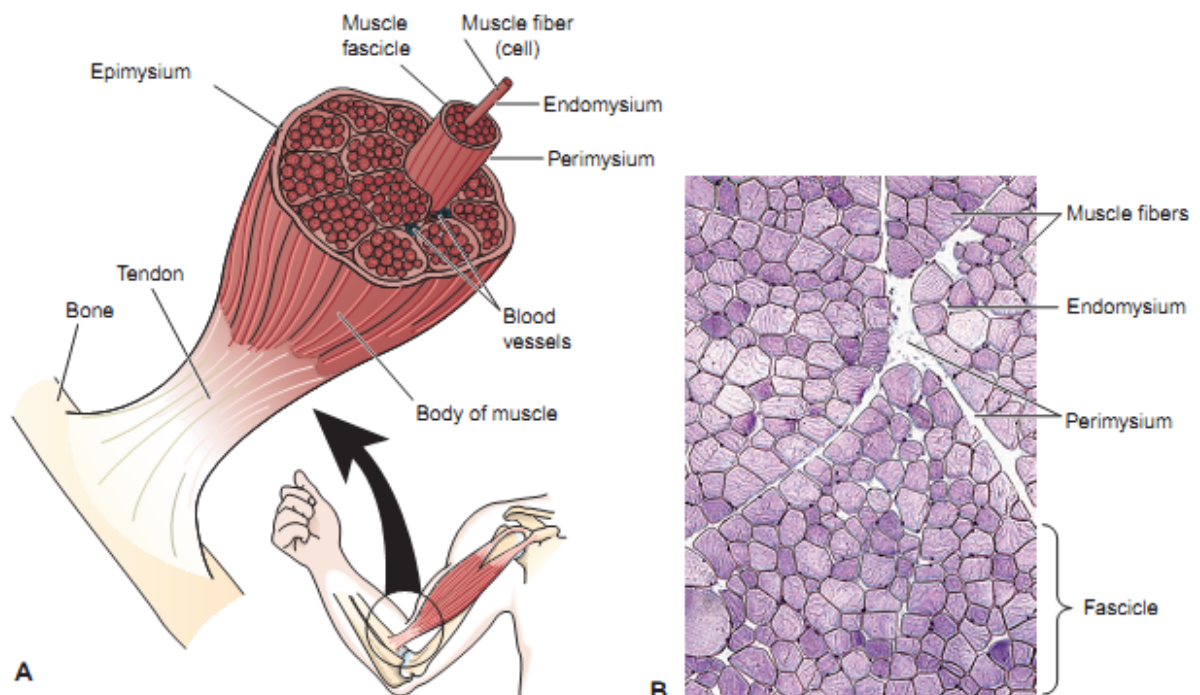


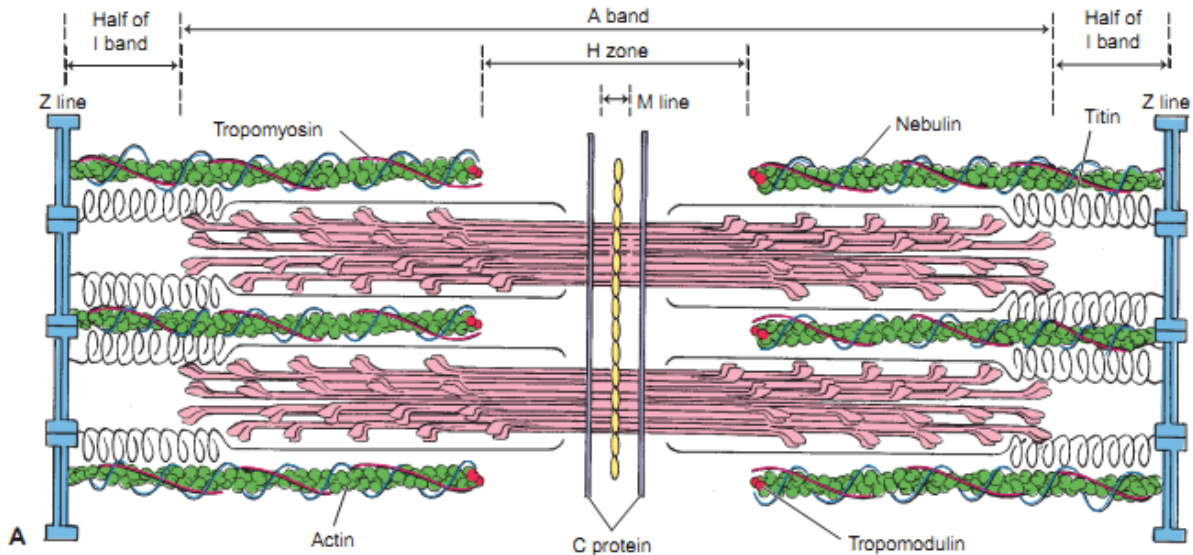
Figure 3-3. Connective tissue in skeletal muscle. (A) Connective tissue plays an important role in skeletal muscle, from the tendon attachments to the bone to the layers of connective tissue that tightly organize skeletal muscle into its different component parts from the whole muscle to the sarcomere. Muscle fibers are grouped together in a fasciculus, and many fasciculi form the intact muscle. Connective tissue surrounds each level of organization, including the epimysium, which covers the whole muscle, the perimysium, which covers each fasciculus, and the endomysium, which covers each muscle fiber. (B) The perimysium, endomysium, and individual muscle fibers can be seen in a cross-section of muscle.

Sarkomer merupakan unit kontraktile, sarkomer terdiri dari **filament protein** jika dilihat mikroskopis berbentuk dua garis

Satu sarkomer terdiri dari

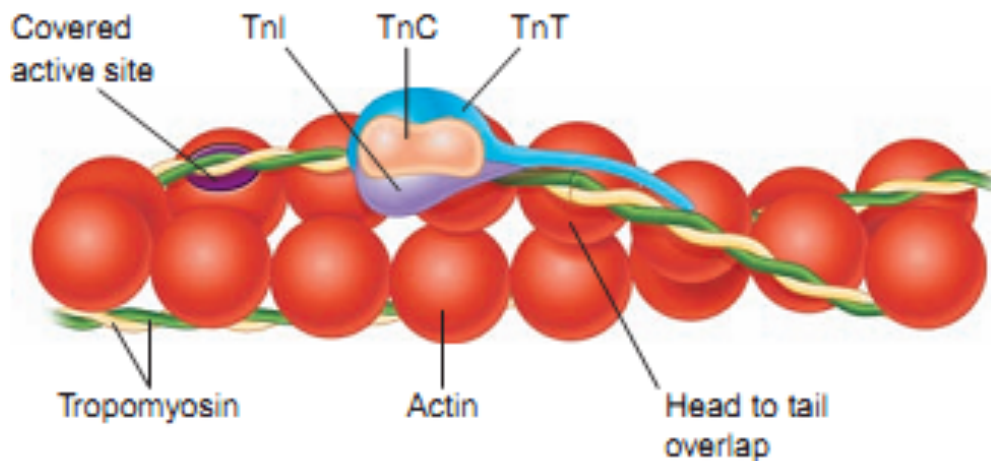
1. **Aktin** dan **Miosin**
2. **Z Lines** setiap akhir 1 sarkomer
3. **H Zone** terlihat saat fase istirahat ditengah2 sarkomer
4. **I Band** terlihat antara **Z Line** dengan akhir dari myosin

5. **A Band** area overlapping antara aktin dan myosin
6. **M Line** berada ditengah H Zone



Aktin:

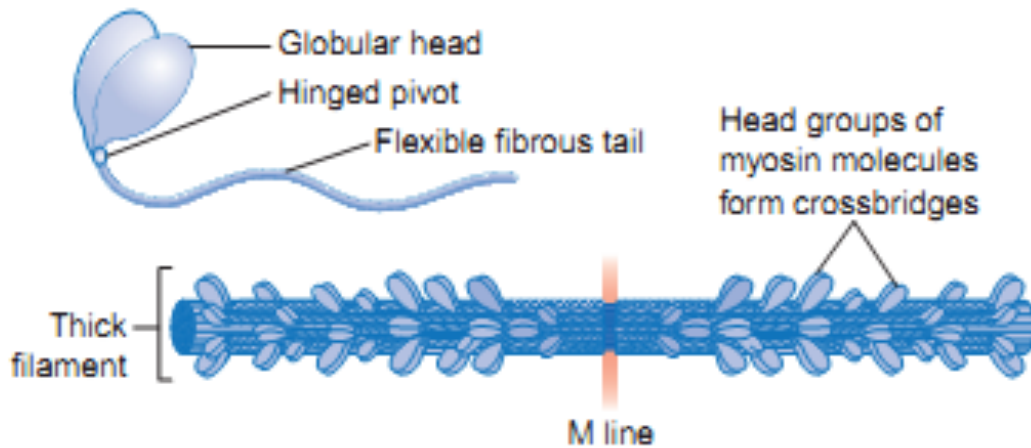
1. Terdiri dari 2 molekul protein **Tropomiosin** dan **Troponin**.
2. Troponin disusun oleh 3 protein: **Troponin I (TnI)**, **Troponin T (TnT)**, & **Troponin C (TnC)**.
3. Troponon I ; Mengikat aktin dan menahan molekul troponin dan tropomyosin terhadap aktin.
4. Troponin T; mengikat tropomyosin terhadap troponin.
5. Troponin C; mengikat ion kalsium ditujukan untuk mengaktifasi kerja otot.



Miosin:

1. **Crossbridge** disusun oleh 2 molekul myosin.
2. 1 molekul myosin disusun **globular head**, **hinge pivot joint**, dan **fibrous tail**.
3. Globular Head disusun oleh **enzim Miosin ATPase**.
4. Filamen myosin akan menarik filament aktin.

5. Dalam myosin terdapat perbedaan bentuk myosin ATPase dalam crossbridge tergantung dari tipe dan karakteristik serabut otot.



Tipe serabut otot dibagi menjadi sebagai berikut:

Klasifikasi	Teori dasar
Serabut Merah dan Putih	Berdasarkan warna; semakin banyak myoglobin berwarna merah, semakin banyak pula kandungan oksigen;
Kedutan/kontraksi Cepat dan Lambat (Fast Twitch dan Slow Twitch)	Berdasarkan kecepatan rangsang kontraksi; fast twitch mampu memproduksi tenaga lebih besar dan tingkat kelelahan lebih tinggi
Oksidatif Lambat, Oksidatif glikolitik cepat, & Glikolitik cepat	Berdasarkan system metabolisme oksidatif dan glikolitik
Tipe I (Slow Twitch) dan Tipe II (Fast twitch)	Stabilitas enzim myosin ATPase dibawah pengaruh perbedaan keasaman (pH); beberapa myosin ATPase dibentuk cepat dalam proses Hidrolisis ATP; dengan demikian siklus interaksi antar aktin-myosin menjadi lebih tinggi.

Karakteristik	Tipe I (slow twitch)	Tipe II (fast twitch)
Tenaga per area cross sectional	Rendah	Tinggi
Aktifitas Miofibril ATPase	Rendah	Tinggi
Simpanan ATP intramuscular	Rendah	Tinggi
Simpanan Fospokreatin intramuscular	Rendah	Tinggi
Kecepatan kontraksi	Lambat	Cepat
Waktu relaksasi	Lambat	Cepat
Akifitas enzim glikolitik	Rendah	Tinggi
Daya tahan	Tinggi	Rendah
Simpanan glikogen otot	Tidak berbeda	
Simpanan trigliserid	Tinggi	Rendah
Mioglobin	Tinggi	Rendah
Aktifitas enzim aerobic	Tinggi	Rendah
Kepadatan kapiler	Tinggi	Rendah
Kepadatan mitokondria	Tinggi	Rendah

Perbedaan Fast Twitch dengan Slow Twitch

1. Bagi bukan atlit atau tak terlatih menggunakan 50% tipe I dan 50% tipe II
2. Atlit dengan daya tahan tinggi 70-85% dominan menggunakan tipe I
3. Atlit dengan kecepatan tinggi 65-70% menggunakan tipe II

2. Kontraksi Otot

Ada tiga proses dalam kontraksi otot, yaitu eksitasi, kontraksi dan relaksasi

A. Eksitasi;

- 1) Adanya potensial aksi pada akson motor neuron alfa.
- 2) Neurotransmitter Asetilkolin (ACh) dilepaskan melalui terminal akson.
- 3) Ikatan Ach diterima reseptor pada membrane serabut otot.
- 4) Pintu membrane serabut otot terbuka, dan mengaktifkan reaksi pertukaran ion.
- 5) Reaksi ion bekerja di dalam T-tubules dan menstimulasi reseptor DHP ,yg berfungsi sebagai sensor tegangan dalam T-tubule
- 6) Stimulasi sensor tegangan mengaktifkan reseptor ryanodine, dimana pintu Ca^{++} terbuka daam retinaculum sarcoplasma

- 7) Saat reseptor ryanodine terbuka, retinaculum sarcoplasma melepaskan Ca^{++} ke ara cytosol

B. Kontraksi;

- 1) Ca^{++} terikat oleh troponin C
- 2) Perubahan formasi troponin dikarenakan gerak tropomyosin.
- 3) Crossbridge myosin terikat dengan aktin
- 4) Kepala myosin menarik filament aktin.
- 5) Kepala myosin memerlukan ATP baru dan melepaskannya dari myosin aktif
- 6) ATPase pada myosin terhidrolisis ATP akan melekat dan siap untuk mengikat aktin dengan myosin yang aktif
- 7) Selama kalsium diaktifkan, siklus ini akan berulang seterusnya.

C. Relaksasi;

- 1) Potensial aksi akson motor neuron alfa terhenti.
- 2) Ca^{++} akan kembali aktif terpompa kembali kedalam retinaculum sacroplasma.
- 3) Ca^{++} tidak diikat troponin C.
- 4) Memerlukan dorongan eksternal untuk mengembalikan otot pada kondisi istirahat dan mengaktifkan kontraksi otot antagonis.

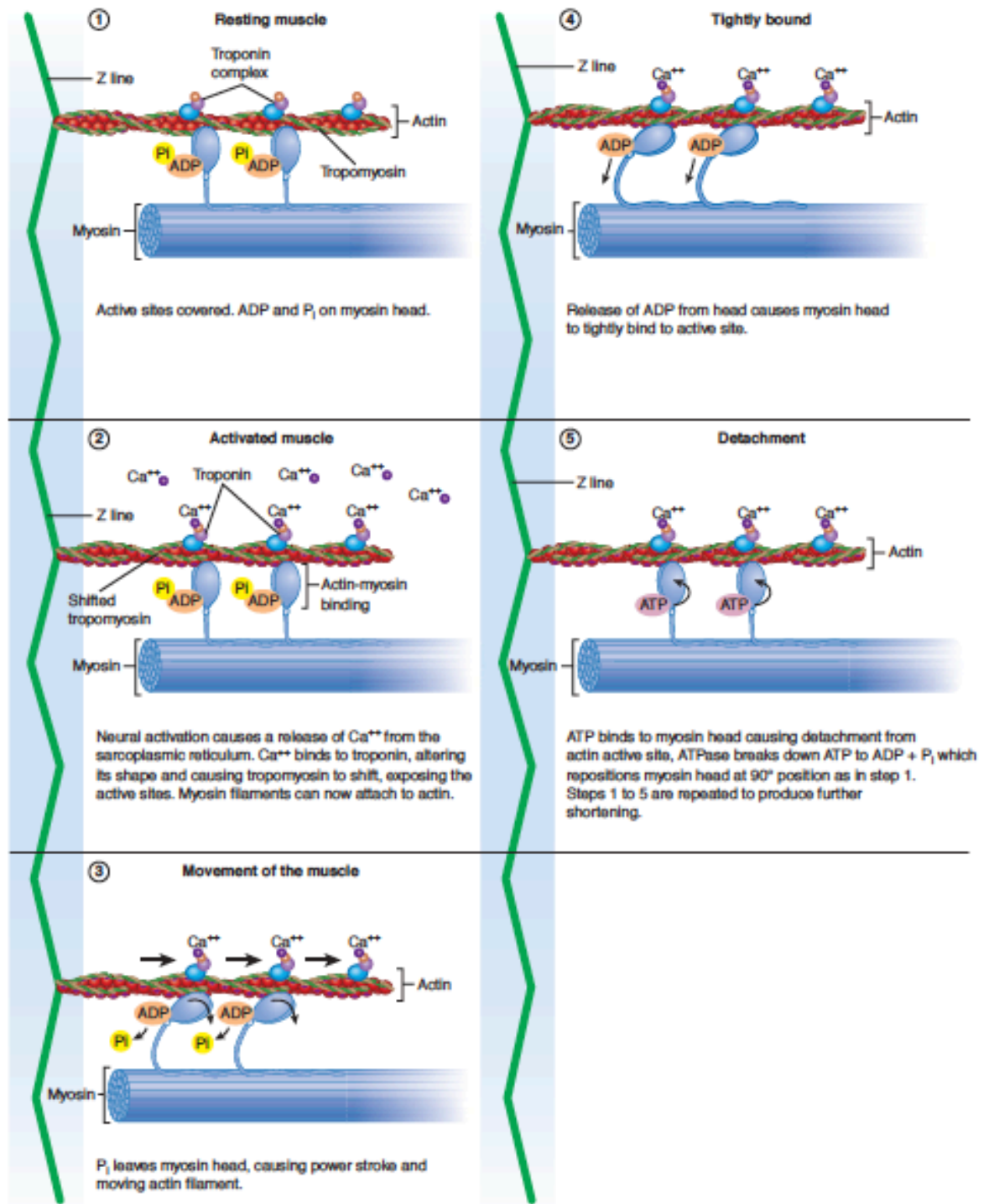


Figure 3-13. Muscle contraction steps. The contractile process is a series of steps leading to the shortening of the sarcomere. This is sometimes referred to as crossbridge cycling.

3. Propioseptive dan kinestetika

Selain dari kemampuan untuk berkontraksi, dalam menghasilkan gerakan yang simultan dan terkoordinasi dengan baik, tubuh memerlukan propioseptif untuk menghasilkan gerakan fungsional dengan baik. Gerakan fungsional yang baik, tubuh harus mampu merasakan gerakan sendi dan rasa kontraksi otot. Propioseptive berada diantara otot dengan tendon, dimana informasi yang dihasilkan propioseptif

akan diteruskan ke otak baik sadar maupun tidak sadar. Proprioseptifis dilatih dengan dengan gerakan fungsional secara berulang-ulang untuk menghasilkan gerakan otomatis tanpa harus berpikir ulang sesuai dengan bidang cabang olahraga yang digeluti oleh atlet. Informasi yang diterima tubuh saat melakukan gerakan fungsional dan mengetahui posisi tubuhnya dengan tepat disebut dengan rasa kinestetik.

Didalam kerjanya ada yang disebut dengan “muscle spindle”, yaitu proprioseptor yang berada didalam otot, dua fungsi utamanya adalah memonitor penguluran/panjang otot dan berkontraksi saat otot terulur panjang. Muscle spindle ini berada didalam serabut otot yang terdiri dari serabut intrafusal dan ektrafusal. Serabut intrafusal merupakan area stretch sensitive (sensoris). Jika otot terulur, maka serabut intrafusal akan mengirimkan rangsangan sensoris yang bersinaps dengan saraf motoric alfa dalam spinal cord untuk segera mengotntraksikan otot dan mengurangi tegangan uluran yang sedang terjadi. Saraf motor alfa menginervasi serabut ektrafusal dan gamma motor neuron menginervasi intrafusal berfungsi untuk mengatur panjang otot untuk menghasilkan tenaga yang lebih besar.

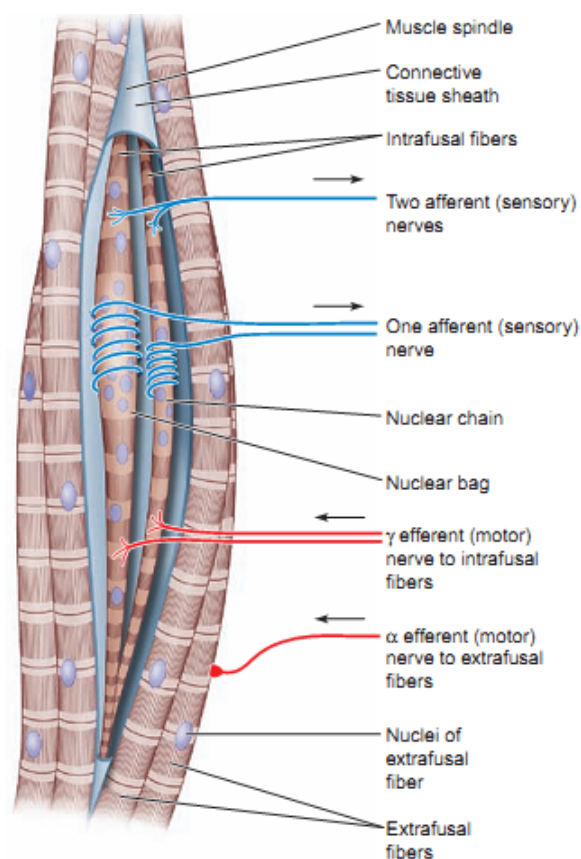


Figure 3-14. Muscle spindles. Muscle spindles send information on the length and tension of the muscle fibers to the higher brain centers. This is very important to patterned skills, where position of the muscles and precise force development determines the effectiveness of the skill being performed (e.g., touch in a basketball jump shot).

Selain muscle spindle yang mengatur kerja otot, organ yang berfungsi sebagai pengatur tegangan tendon disebut dengan golgi tendon organ (GTO). Jika tegangan terlalu kuat, GTO akan aktif dan akan menarik tendon dengan kuat sehingga dapat menyebabkan kerobekan pada tendon. Pada dasarnya proprioseptor harus mampu

memposisikan dan memonitor tegangan tendon dengan mengatur kerja pada perut otot keseluruhan.

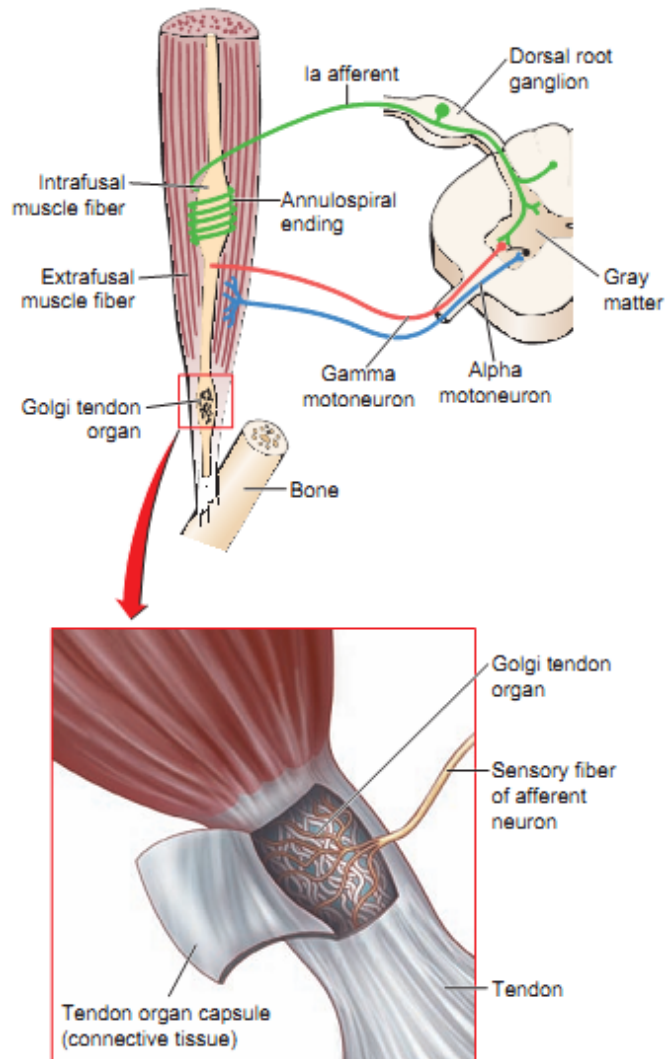


Figure 3-15. Golgi tendon organs. Golgi tendon organs function to protect the muscle and tendon by responding to the amount of tension in the tendons. If the tension is too great, the force development by the muscle is decreased.

4. Produksi Kekuatan

Berdasarkan kemampuan kontraksi Ada tiga tipe kontraksi otot, yakni konsentrik, isometric, dan eksentrik. Konsentrik adalah kontraksi otot dengan adanya pemendekan serabut otot. Isometric adalah kontraksi tanpa adanya pemendekan dan pemanjangan dari aktin myosin dan tidak terjadi gerakan. Eksentrik ialah kontraksi otot dengan adanya pemanjangan otot. Berdasarkan tenaga yang digunakan, kontraksi eksentrik memerlukan tenaga yang besar untuk mengaktifkannya dan memberikan respon kecepatan dalam gerakan fungsional. sedangkan kontraksi isometric tenaga yang digunakan cenderung tetap dari titik normalnya. Dan kontraksi konsentrik menggunakan tenaga lebih kecil dibandingkan eksentrik.

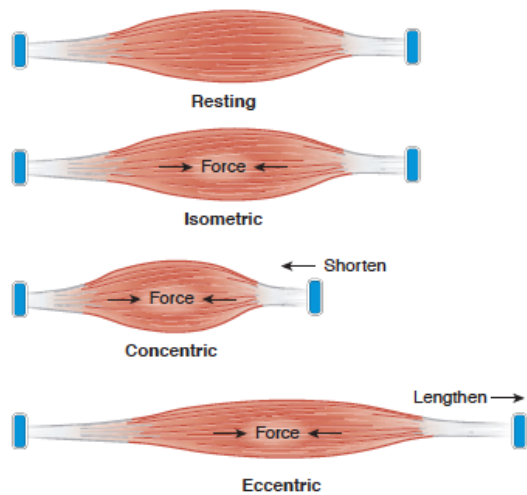


Figure 3-16. There are three basic muscle actions: concentric, eccentric, and isometric. Concentric, in which the muscle shortens; isometric, in which there is no change in muscle length (0 velocity); and eccentric, in which there is an elongation of the muscle while it produces force. (Adapted with permission from Knuttgen and Kraemer.²³)

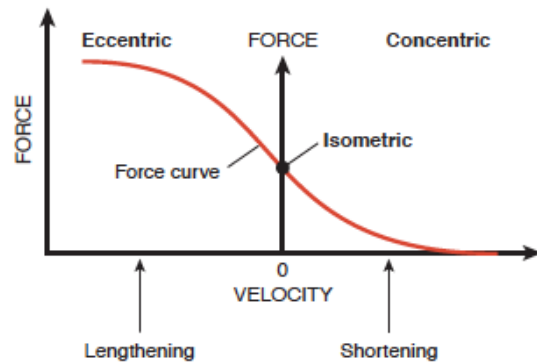


Figure 3-17. Force-velocity curve for the concentric and eccentric phases of movement. The force-velocity curve dictates the relationship of the muscle's ability to produce force with increasing velocity of movement concentrically and eccentrically. The force produced by a concentric muscle action decreases as the velocity increases; however, the force produced by the eccentric muscle action increases as the velocity increases.

Untuk dapat memodifikasi kerja kontraksi otot konsentrik ada dua acara yang dapat dilakukan adalah dengan memberikan latihan dengan beban berat dengan tempo gerakan yang lambat akan meningkatkan tenaga dan dengan beban ringan dengan tempo gerakan cepat akan meningkatkan kecepatan (power).

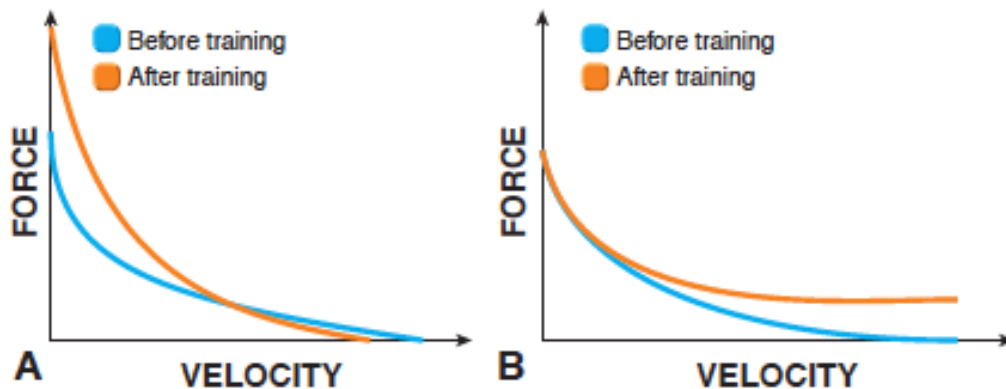


Figure 3-18. The training effects on the concentric force-velocity curve. (A) The change produced by heavy-strength training. (B) The change produced by low-load, high-velocity training. If one wants to affect the entire curve, both heavy-strength training and high-velocity power training are needed.

Kurva kekuatan adalah Jumlah kekuatan yang diproduksi pada rentang luas gerak penuh. Kurva Naik terjadi jika kekuatan diproduksi pada $\frac{1}{2}$ atau $\frac{1}{4}$ dari Luas gerak sendi. Kurva turun jika kekuatan diproduksi dari awal LGS dan tidak Mencapai LGS akhir. Kurva Melengkung (Bel) jika Kekuatan diproduksi dari pertengahan LGS, tidak mampu dari LGS awal & akhir. Kurva Kekuatan bergantung dari; Biomekanik / kinesiologi gerakan, Struktur tubuh (panjang tulang, titik lekat tendon, ukuran tubuh), Panjang tegangan otot, dan Kemampuan overlapping actin-myosin.

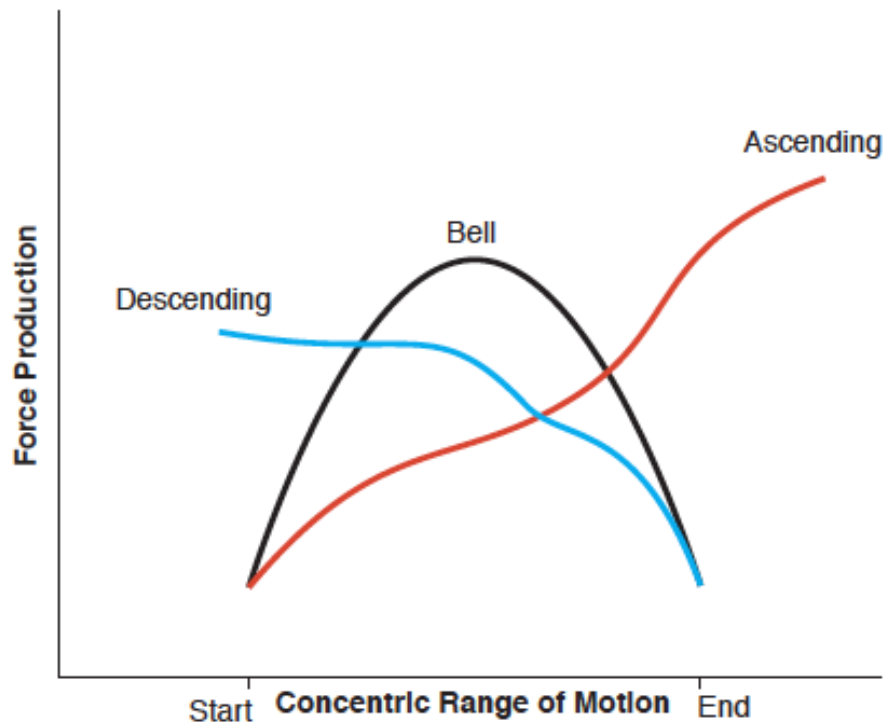


Figure 3-19. Strength Curves. There are three major strength curves: ascending (*red*), bell (*black*), and descending (*blue*) curves. Many standard exercises follow these basic strength curves. For example, a bench press has an ascending curve, a biceps curl has a bell curve, and a hamstring curl has a descending curve.

Berkaitan dengan panjang otot, semakin pendek otot berkontraksi maka tenaga yang digunakan semakins sedikit, begitu pula sebaliknya semakin otot mampu berkontraksi eksentrik 100% maka akan memberikan tenaga yang besar. Namun jika terlalu besar justru memberikan resiko penurunan tenaga.

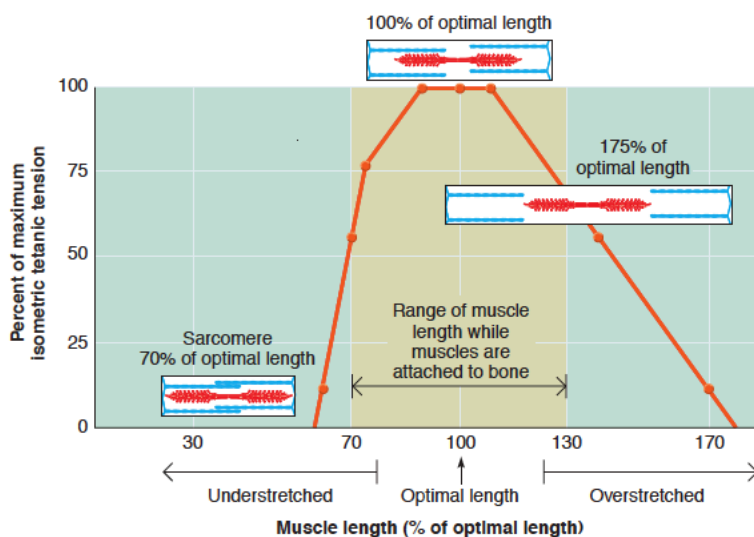


Figure 3-20. Length-tension relationship. The amount of force that a muscle fiber, and thus a muscle, can produce is related to the degree of overlap between myosin and actin. When the fiber is stretched too much or shortened too much, the number of actomyosin complexes that can be formed is limited, and, as a result, so is force generation.

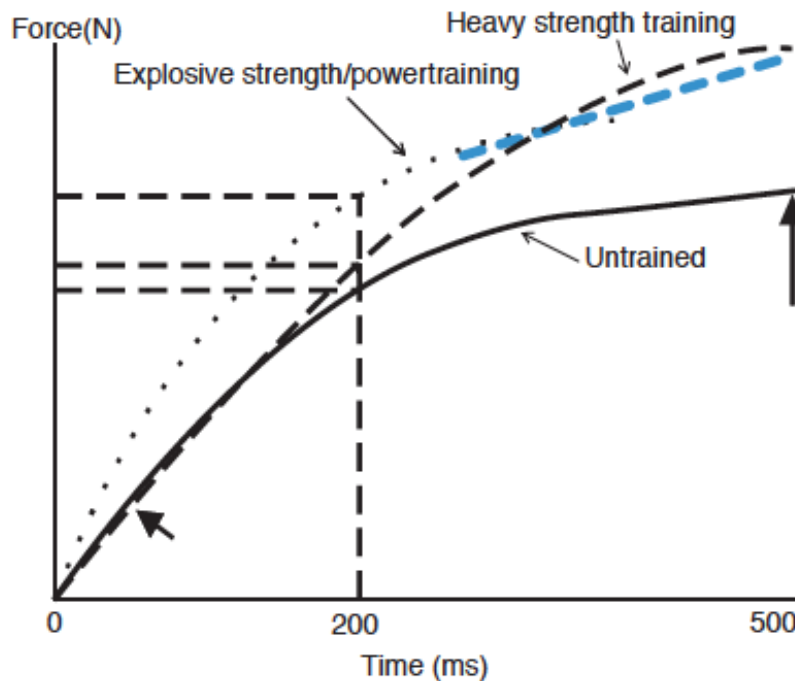


Figure 3-21. The force-time curve is affected differently by different types of strength training. Traditional heavy strength training increases maximal force ability. Explosive/strength power training increases maximal force and rate of force development.

5. Adaptasi latihan

a. Latihan Daya Tahan

Adaptasi utama pada latihan daya tahan membutuhkan penggunaan oksigen dan kontraksi dengan daya tahan otot yang lama. Motor unit dengan serabut tipe I otot akan direkrut/digunakan pertama kali, dan kemudian seiring meningkatnya intensitas motor unit tipe II direkrut seperlunya saja. Semakin banyak serabut motor unit tipe II yang direkrut, akan berdampak pada kurang efisien dan efektif kinerja daya tahan.

Sebagai contoh pada olahraga marathon yang diperkirakan selesai dalam waktu 2:10:00 memerlukan kecepatan sekitar $4.84 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Untuk mencapai kecepatan tersebut seorang pelari marathon perlu menggunakan 80% serabut otot tipe 1 dalam berlari. Pada contoh tersebut menggambarkan bahwa kepadatan mitokondria dan suplai darah menjadi lebih tinggi. Laughlin dan Roseguini (2008) menjelaskan dalam studinya bahwa latihan daya tahan akan meningkatkan laju darah sehingga kapasitas oksigen pada jaringan terpenuhi. Biasanya laju darah ini dapat kita observasi pada kulit akan terlihat memerah (hyperemia). Selama latihan daya tahan akan terjadi peningkatan jumlah kapiler setiap serabut ototnya. Hal itu ditujukan agar terjadi peningkatan jumlah oksigen dalam mitokondria dan serabut otot. Dengan demikian akan meningkat pula produk ATP dalam system energi aerobik dalam siklus kreb dan postensial aksi. Dengan meningkatnya kebutuhan oksigen dalam mitokondria sehingga tubuh meningkatkan jumlah kapiler yang menuju kesana yang mengakibatkan ukuran otot tipe 1 akan berkurang.

Jadi, apa yang terjadi pada serabut otot, tipe I dan tipe II, ketika mereka direkrut sebagai bagian dari motor unit untuk melakukan latihan daya tahan? Pertama, untuk meningkatkan pengiriman oksigen ke otot, akan terjadi peningkatan jumlah kapiler setiap serat otot. Hal ini akan meningkatkan pengiriman oksigen ke otot untuk berolahraga. Mitokondria adalah organ yang menghasilkan ATP melalui jalur aerobik, dan peningkatan mitokondria ditujukan untuk metabolisme aerobik sesuai dengan kebutuhan latihan. Dengan peningkatan mitokondria ini berdampak pada kinerja serabut otot yang terlatih yang akan meningkatkan konsentrasi enzim dalam siklus krebs dan cythochromes dalam transportasi electron yang lebih besar untuk mensintesa ATP.

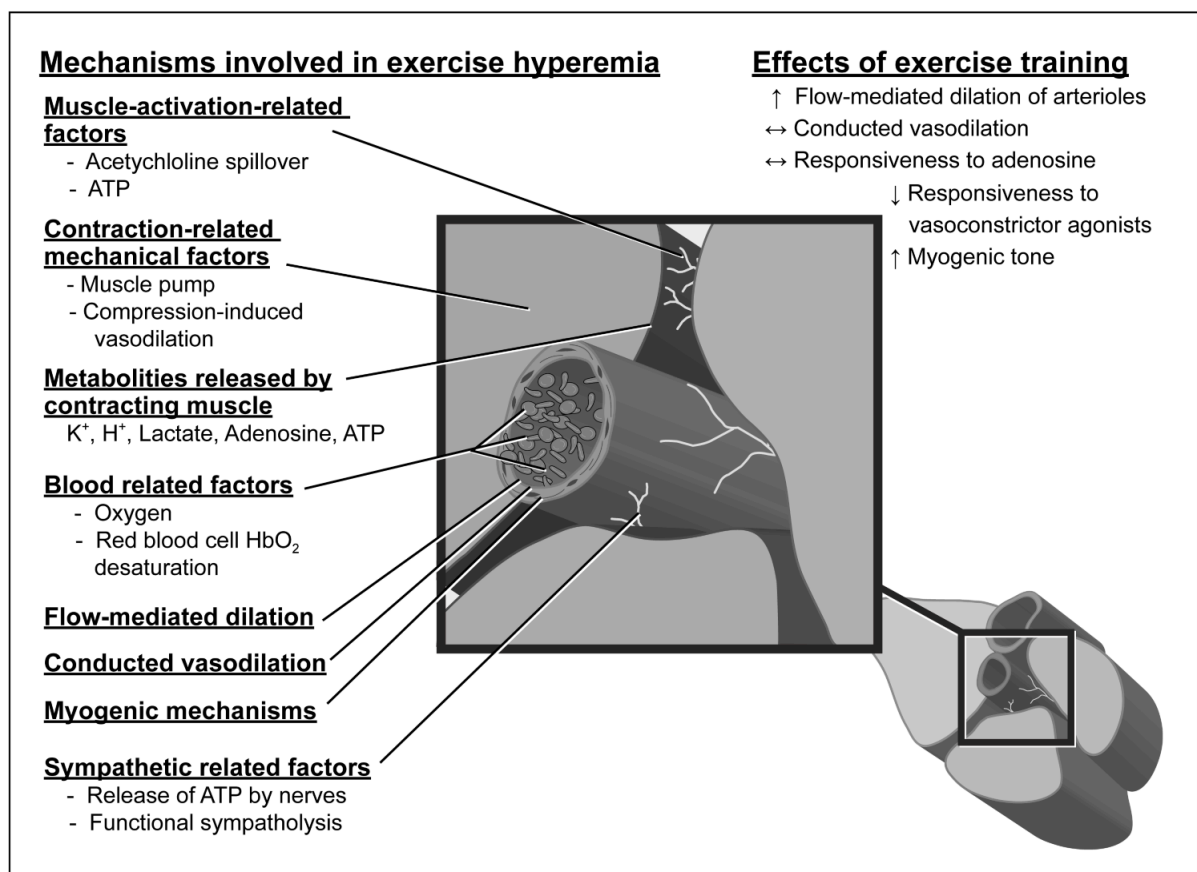


Fig. 2. Schematic representation of an arteriole surrounded by muscle fascicles. Mechanisms supposedly involved in causing exercise hyperemia are listed on the left and control processes believed to be altered in skeletal muscle vasculature by exercise training are summarized on the right. See text for details.

Peningkatan jumlah kapiler yang mengelilingi setiap serabut otot akan memproduksi myoglobin dan mitokondria lebih banyak. Yang tentunya memberikan peningkatan kerja difusi mitokondria melalui membrane sel, sehingga proses metabolisme aerobik menjadi lebih efisien dan cepat. Kerja metabolisme seperti ini akan membakar energi lebih banyak dan tingkat kelelahan akan menurun. Uniknya ukuran otot pada latihan daya tahan ini secara alami ukurannya lebih kecil dikarenakan banyaknya serabut otot tipe 1, dan memudahkan kapiler mendekati mitokondria dalam proses difusi.

b. Latihan kekuatan

Hipertropi/hyperplasia terjadi karena ada latihan kekuatan dengan menggunakan beban berat. Perlu kita ketahui bahwa hipertropi adalah meningkatnya ukuran otot/myofibril sehingga volume otot terlihat lebih besar. Hipertropi adalah peningkatan ukuran otot, yang terjadi akibat dari program latihan otot. Protein Myofibrill (yaitu, aktivitas dan myosin) akan menambah jumlahnya yang berdampak pada ukuran menjadi lebih besar. Hipertropi ini membutuhkan waktu 6 minggu sampai 6 bulan. Pada latihan ini menggunakan otot tipe 2 yang membutuhkan sintesa protein untuk mereplikasi DNA dilihat dari meningkatnya jumlah myonuclei yang berdampak langsung pada peningkatan jumlah serabut otot dan cross sectional area ditandai dengan bertambahnya sarkomer paska latihan beban.

Pembentukan (remodeling) jaringan otot dengan latihan beban berat bertujuan untuk merubah protein kontraktile pada serabut otot tipe 2. Sintesa protein pada serabut ini ditujukan agar ada perubahan dari struktur otot, sedangkan yang terjadi pada serabut otot tipe 1 akan mengalami degradasi protein. Jumlah dari myonuclei dalam otot berfungsi sebagai satelit antar sel untuk saling berkomunikasi. Beban latihan akan membentuk kerusakan pada jaringan ikat yang mengisolasi myonuclei untuk dibawa ke dalam mitogen. Kemudian myonuclei akan mengalami replikasi yang akan membentuk myonuclei baru. Selain itu pula aspek genetic tubuh untuk mengelola protein agar jumlahnya meningkat. Sebuah studi dilakukan oleh kadi dan thomell latihan beban selama 10 minggu akan meningkatkan myonuclei pada otot trapezius wanita. Peningkatan yang terjadi adalah bertambahnya 36% cross sectional area serabut otot.

Peningkatan jumlah serabut otot ini disebut dengan hyperplasia yang memberikan respon pada hipertropi. Adaptasi ini terjadi jika tidak terjadinya hipertropi, melainkan hanya jumlahnya saja yang bertambah dan belum ada perubahan ukuran. Hal tersebut dikarenakan oleh latihan intensitas tinggi dan kecepatan tinggi dengan target pada serabut otot tipe 2.

Penerapan praktik yang dapat kita gunakan harus sesuai dengan kebutuhan yang ingin dicapai dan volume latihan tidak kontraproduktif agar terjadinya adaptasi fisiologis dan performa otot yang baik. Berikut langkah-langkah yang dapat diberikan:

- a. prioritaskan program latihan sesuai dengan capaian akhir. Tidak memberikan latihan intensitas tinggi, kekuatan dengan volume besar, dan daya tahan bersamaan. Hal ini ditujukan agar terjadi proses pemulihan paska latihan sehingga memberikan respon adaptasi yang diinginkan. Maka perlu program latihan yang terencana dan berperiodisasi.
- b. Jika pada olahragawan dengan kekuatan/power yang tinggi, batasi latihan yang bersifat aerobic.

6. Kesimpulan

- a. Hanya serabut otot yang dapat digunakan dalam latihan dan mampu beradaptasi sesuai dengan stimulus yang diberikan.

- b. Adaptasi latihan daya tahan berkaitan dengan kebutuhan oksigen, guna mempertahankan kerja otot dalam waktu lama.
- c. Pertumbuhan ukuran otot dihasilkan dari latihan beban.
- d. Jika tubuh diberikan rangsangan latihan daya tahan dan kekuatan secara bersama, maka tubuh lebih beradaptasi pada performa daya tahan dibandingkan kekuatan.