

## **BAB IX**

### **SKELETAL MUSCLE SISTEM AND EXERCISE**

#### **Tujuan Pembelajaran:**

- 1 Mahasiswa mengetahui sistem otot skeletal beserta kaitannya dengan olahraga pada tubuh manusia
- 2 Mengetahui spesifikasi terkait sistem otot skeletal
- 3 Mengetahui penelitian terkini terkait sistem otot skeletal
- 4 Mengetahui manfaat dan dampak yang akan terjadi terkait sistem otot skeletal saat berolahraga

#### **A. Pendahuluan**

Otot membentuk kelompok jaringan terbesar di tubuh, menghasilkan sekitar separuh dari berat tubuh. Otot rangka membentuk sekitar 40% berat tubuh pada pria dan 32% pada wanita, dengan otot polos dan otot jantung membentuk 10% lainnya dari berat total. Sistem otot bertanggung jawab untuk pergerakan tubuh manusia. Terletak pada tulang-tulang sistem rangka sekitar 700 otot yang membentuk kira-kira setengah dari berat badan seseorang. Masing-masing otot ini adalah organ diskrit yang dibangun dari jaringan otot skeletal (*Skeletal Muscle*), pembuluh darah, tendon, dan saraf. Jaringan otot juga ditemukan di dalam jantung, organ pencernaan, dan pembuluh darah. Dalam organ-organ ini, otot berfungsi untuk memindahkan zat ke seluruh tubuh. Ada tiga jenis utama otot: (1) SM, yang juga disebut otot sukarela karena dapat dikontrol secara sadar; (2) otot polos, yang juga diistilahkan sebagai otot tak sadar karena tidak berada di bawah kontrol sukarela; dan (3) otot jantung, yang merupakan otot khusus (Nayak *et al*, 2016).

*Skeletal Muscle* berbeda dalam ukuran dan bentuk sesuai dengan kegiatan yang dilakukan. Otot melekat baik secara langsung atau tidak langsung ke tulang. *Skeletal Muscle* adalah satu-satunya jaringan otot sukarela di tubuh manusia (dikontrol secara sadar). Faktanya otot-otot ini selalu melekat pada kerangka setidaknya satu tempat. Setiap tindakan fisik yang dilakukan seseorang secara sadar (mis., Berbicara, berjalan, menulis) membutuhkan *Skeletal Muscle*. Fungsi *skeletal muscle* adalah berkontraksi untuk menggerakkan bagian-bagian tubuh lebih dekat ke tulang yang melekat pada otot. Kebanyakan *Skeletal Muscle*

melekat pada dua tulang di sepanjang sendi, sehingga otot berfungsi untuk menggerakkan bagian-bagian tulang-tulang lebih dekat satu sama lain. Mereka bekerja dalam pasangan yang berlawanan, yaitu, satu otot dalam pasangan kontrak, sedangkan yang lain bersantai untuk menghasilkan gerakan tubuh yang beragam seperti berjalan, menusuk jarum, dan berbagai ekspresi wajah. Sel-sel SM terbentuk ketika banyak sel-sel progenitor yang lebih kecil beragregat membentuk serat-serat panjang, lurus, dan bertransmukleasi. Luruskan sama seperti otot jantung, serat SM ini sangat kuat.

Otot-otot halus terjadi di dinding-dinding organ tubuh bagian dalam dan melakukan tindakan-tindakan seperti memaksa makanan melalui usus, berkontraksi rahim saat melahirkan, dan memompa darah melalui pembuluh-pembuluh darah. Untuk otot-otot sukarela, semua kontraksi (tidak termasuk refleks) terjadi sebagai hasil dari upaya sadar yang berasal dari otak. Otak mengirim sinyal, dalam bentuk potensial aksi, melalui sistem saraf ke motor neuron yang mempersarafi beberapa serat otot. Dalam kasus beberapa refleks, sinyal untuk berkontraksi dapat berasal dari sumsum tulang belakang melalui umpan balik dengan materi abu-abu.

Ada lebih dari 640 otot di tubuh manusia dan ini membentuk sekitar 40% dari massa tubuh. Otot-otot yang menggerakkan tulang selama aktivitas disebut otot skelet. Ketika berolahraga atau mengambil bagian dalam olahraga, otot akan merespons dalam berbagai cara. Beberapa tanggapan ini langsung dikenal sebagai respons akut. Tanggapan yang terjadi selama periode waktu yang lebih lama dikenal sebagai respons kroni. Efek jangka pendek dari latihan pada otot-otot termasuk peningkatan aktivitas metabolisme (tingkat di mana otot menghasilkan dan melepaskan energi sehingga gerakan dapat terjadi). Sebagai hasil dari peningkatan aktivitas metabolik, ada permintaan yang lebih besar untuk oksigen dan glukosa di otot, yang dipenuhi oleh peningkatan suplai darah. Pembuluh darah mengembang atau menjadi lebih lebar untuk memungkinkan lebih banyak darah masuk ke otot. Ini disebut vasodilatasi. Aliran darah meningkat secara signifikan untuk memastikan bahwa otot-otot yang bekerja dipasok dengan oksigen yang mereka butuhkan serta untuk membuang produk-produk limbah seperti karbon dioksida (Nayak *et al*, 2016).

## B. Anatomi Muskoskeletal

Kebanyakan otot rangka melekat pada dua tulang melalui tendon (Gambar 1). Tendon adalah pita kuat dari jaringan ikat biasa padat yang serat kolagennya menempel kuat pada otot tulang. Tendon berada di bawah tekanan ekstrim ketika otot tertarik, sehingga mereka sangat kokoh dan ditunen menjadi penutup dari kedua otot dan tulang. Otot bergerak dengan memperpendek serabut panjangnya, menarik tendon, dan menggerakkan tulang lebih dekat satu sama lain. Salah satu tulang ditarik ke arah tulang lainnya yang tetap diam. Tempat di tulang stasioner yang terhubung melalui tendon ke otot disebut sebagai sumber otot. Tempat tulang bergerak yang terhubung ke otot melalui tendon disebut penyisipan. Perut otot adalah bagian berdaging otot di antara tendon yang melakukan kontraksi yang sebenarnya (Gambar 2).

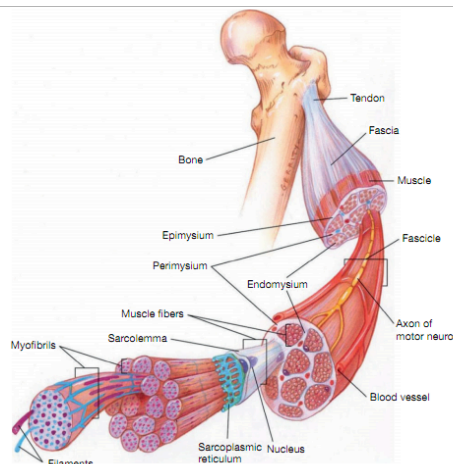


Figure 1 Connective tissue surrounding skeletal muscle.

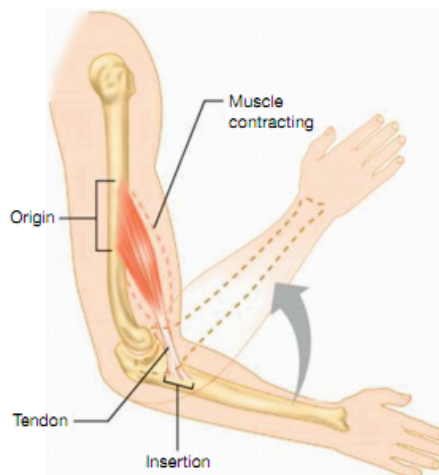


Figure 2 Isotonic muscle action.

### C. Jenis Serat Otot Rangka

Tiga jenis utama serat otot ditemukan dalam berbagai proporsi otot rangka pada manusia. Jenis serat ini dapat dibedakan satu sama lain berdasarkan histokimia, metabolik, morfologis, dan mekanis. Kebanyakan otot mengandung campuran jenis, meskipun serat biasanya mendominasi.

- Tipe 1 atau *Slow Oxidative Fibers*

Serat ini memiliki kecepatan kontraksi yang lambat dan aktivitas ATPase myosin yang rendah. Sel-sel ini khusus untuk aktivitas yang stabil dan berkelanjutan dan sangat tahan terhadap kelelahan. Neuron motorik mereka sering aktif, dengan frekuensi tembak rendah. Sel-sel ini tipis (permukaan tinggi terhadap rasio volume) dengan persediaan kapiler yang baik untuk pertukaran gas yang efisien. Jenis ini kaya *mitochondria* dan mioglobin. Mioglobin bertanggung jawab untuk warna merah dari serat. Mereka dibangun untuk metabolisme aerobik dan lebih suka menggunakan lemak sebagai sumber energi. Ini adalah serat yang penting bagi pelari maraton.

- Tipe 2A atau *Fast Oxidative-Glycolytic Fibers*

Serat ini memiliki kecepatan kontraksi yang cepat dan aktivitas ATPase myosin yang tinggi. Mereka secara progresif direkrut ketika upaya tambahan diperlukan, tetapi masih sangat tahan terhadap kelelahan. Neuron motorik mereka menunjukkan ledakan aktivitas intermiten. Sel-sel ini tipis (permukaan tinggi terhadap rasio volume) dengan persediaan kapiler yang baik untuk pertukaran gas yang efisien. Tipe ini kaya *mitochondria* dan mioglobin, yang memberi mereka warna merah. Mereka dibangun untuk metabolisme aerobik dan dapat menggunakan glukosa atau lemak sebagai sumber energi. Ini adalah serat otot tujuan umum, dan mereka memberikan tepi dalam kinerja atletik. Namun, serat ini secara metabolik lebih tinggi untuk beroperasi daripada tipe 1.

- Tipe 2B atau *Fast Glycolytic Fibers*

Serat ini memiliki kecepatan kontraksi yang cepat dan aktivitas ATPase myosin yang tinggi. Mereka hanya direkrut untuk

upaya maksimal dan mudah lelah. Neuron motorik mereka mengirimkan semburan sesekali dari impuls frekuensi yang sangat tinggi. Serat ini memiliki sel-sel besar dengan rasio permukaan / volume yang rendah, dan persediaan kapilernya yang terbatas memperlambat pengiriman oksigen dan pembuangan produk-produk limbah. Mereka memiliki sedikit mitokondria dan sedikit mioglobin, menghasilkan warna putih. Mereka menghasilkan adenosine triphosphate (ATP) oleh fermentasi glukosa anaerobik menjadi asam laktat.

#### 1. Nomenklatur Otot Rangka

Nomenklatur dari otot rangka didasarkan pada berbagai faktor termasuk lokasi, jumlah asal, bentuk, ukuran, arah, dan fungsi.

- Berdasarkan tempatnya

Banyak otot diberi nama dari letak anatomi mereka. Rektus abdominis dan abdominis transversal, misalnya, adalah ditemukan di daerah perut. Beberapa otot, seperti tibialis anterior, diberi nama setelah bagian tulang (bagian anterior tibia) yang melekat padanya. Otot-otot lainnya menggunakan hibrida dari keduanya, seperti brachioradialis, yang dinamai berdasarkan daerah (brachial) dan tulang (radius).

- Jumlah Asal

Beberapa otot terhubung ke lebih dari satu tulang atau lebih dari satu tempat di tulang dan karena itu memiliki lebih dari satu asal. Otot dengan dua asal disebut biseps. Otot dengan tiga asal adalah otot trisep. Akhirnya, otot dengan empat asal adalah otot paha depan (Gambar 3).

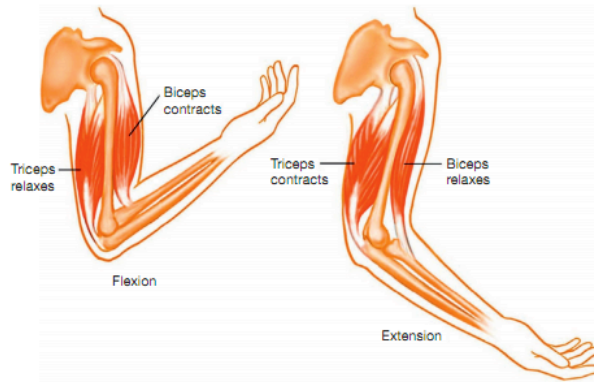


Figure 3 Biceps and triceps muscles.

*The Encyclopedia of Food and Health, (2016), vol. 4, pp. 795-801*

- Bentuk, Ukuran, dan Orientasi Serat

Otot juga diklasifikasikan berdasarkan bentuknya, misalnya, deltoid memiliki bentuk delta atau segitiga. Otot serratus memiliki bentuk yang bergerigi atau seperti gergaji. The rhomboid mayor adalah belah ketupat atau bentuk berlian. Ukuran otot dapat digunakan untuk membedakan antara dua otot yang ditemukan di wilayah yang sama. Daerah gluteal mengandung tiga otot yang dibedakan berdasarkan ukuran - gluteus maximus (besar), gluteus medius (sedang), dan gluteus minimus (kecil). Akhirnya, arah di mana serat otot berjalan dapat digunakan untuk mengidentifikasi otot. Di daerah perut, ada beberapa set otot lebar dan rata. Otot-otot yang seratnya lurus ke atas dan ke bawah adalah rectus abdominis, yang berjalan melintang (kiri ke kanan).

- Asal dan Penyisipan

Beberapa otot diberi nama berdasarkan koneksi mereka ke tulang stasioner (asal) dan tulang yang bergerak (insersi). Otot-otot ini menjadi sangat mudah untuk diidentifikasi setelah kita tahu nama-nama tulang tempat mereka lekat. Contoh dari jenis otot ini termasuk sternokleidomastoid (menghubungkan sternum dan klavikula ke proses mastoid tengkorak) dan occipitofrontalis (menghubungkan tulang oksipital ke tulang frontal).

- Fungsi

Otot kadang-kadang diklasifikasikan berdasarkan fungsi yang mereka lakukan. Sebagian besar otot lengan bawah dinamai berdasarkan fungsinya karena terletak di wilayah yang sama dan memiliki bentuk dan ukuran yang sama. Misalnya, kelompok fleksor lengan bawah melenturkan pergelangan tangan dan jari-jari. Supinator adalah otot yang menopang pergelangan tangan dengan menggulirkannya ke arah telapak tangan ke atas. Di kaki, ada otot yang disebut adductors yang berperan untuk menambah (menarik bersama) kaki.

## 2. Arsitektur Otot

Deskripsi arsitektur otot rangka mencakup pengaturan serat dalam kaitannya dengan sumbu gaya, panjang serat otot, panjang otot, massa otot, dan luas penampang fisiologis. Variasi struktural ini mempengaruhi tidak hanya bentuk dan ukuran keseluruhan dari otot tetapi juga fungsi dari otot rangka / *skeletal muscle*. Pengaturan fasikula (kelompok serat otot) bervariasi di antara otot-otot. Fasciculi mungkin berparalel dengan poros panjang otot, dapat berputar di sekitar sumbu panjang, atau mungkin pada sudut ke sumbu panjang. Otot yang memiliki susunan serat paralel (sejajar dengan sumbu panjang dan satu sama lain) ditetapkan sebagai tali atau otot fusiform. Otot yang memiliki susunan serat miring ke sumbu panjangnya disebut otot menyirip. Pada otot yang tidak tertekan, fasik yang bersetusasi miring menyebar hanya pada satu sisi tendon otot pusat. Dalam otot bipennate, fasik secara miring dipasang pada kedua sisi tendon sentral. Dalam otot multipennat, oblique oblik berhimpun pada beberapa tendon.

## 3. Aksi dalam Otot Rangka

Otot rangka jarang bekerja secara individu untuk mencapai gerakan di dalam tubuh. Mereka bekerja dalam kelompok untuk menghasilkan gerakan yang tepat. Otot yang menghasilkan gerakan tubuh tertentu dikenal sebagai agonis atau penggerak utama. Itu selalu berpasangan dengan otot antagonis yang menghasilkan efek berlawanan pada tulang yang sama. Misalnya, otot bicep brachii melenturkan lengan pada siku. Sebagai antagonis untuk gerakan ini, otot triceps brachii memanjang lengan di siku. Ketika trisep memperpanjang lengan, bicep akan dianggap sebagai antagonis. Selain pasangan agonis / antagonis, otot-otot lain bekerja untuk

mendukung gerakan agonis (Gambar 3). Sinergis adalah otot yang membantu menstabilkan gerakan dan mengurangi gerakan ekstra. Mereka biasanya ditemukan di daerah dekat agonis dan sering terhubung ke tulang yang sama. Karena otot rangka memindahkan penyisipan lebih dekat ke asal tidak bergerak, otot-otot fixator membantu gerakan dengan memegang asal-usul stabil.

#### 4. Kerja Otot

Teori Filamen Geser Sebuah kontraksi konsentris adalah jenis kontraksi otot di mana otot-otot memendek sementara menghasilkan kekuatan. Otot serat akan memendek (kontrak) jika jumlah sarkomer yang cukup aktif memendek dan jika salah satu atau kedua ujung serat otot bebas. Berbeda dengan kontraksi pemendekan, di mana filamen tipis ditarik ke arah filamen tebal, otot dapat mengalami kontraksi eksentrik, atau kontraksi memanjang. Dalam kontraksi memanjang, filamen tipis ditarik menjauh dari filamen tebal, dan jembatan silang rusak dan direformasi saat otot memanjang. Ketegangan dihasilkan oleh otot sebagai jembatan silang yang direformasi. Untuk otot secara keseluruhan berkontraksi, filamen aktin dan myosin harus tumpang tindih, menyebabkan sarkomer memendek. Proses ini dipicu oleh pelepasan ion kalsium dengan adanya troponin dan tropomiosin. Pelepasan kalsium, yang disediakan oleh ATP, memfasilitasi interaksi myosin dan aktin pada tingkat molekuler. Pada tingkat tinggi pembesaran, dideteksi bahwa jembatan kecil, yang dikenal sebagai jembatan silang myosin, pada filamen tebal meluas ke filamen tipis. Jembatan silang ini terus menempel, memutar, melepaskan, dan memasang kembali, yang menghasilkan geser filamen, memendeknya sarkomer, dan akhirnya apa yang kita lihat sebagai kontraksi otot (Gambar 5).



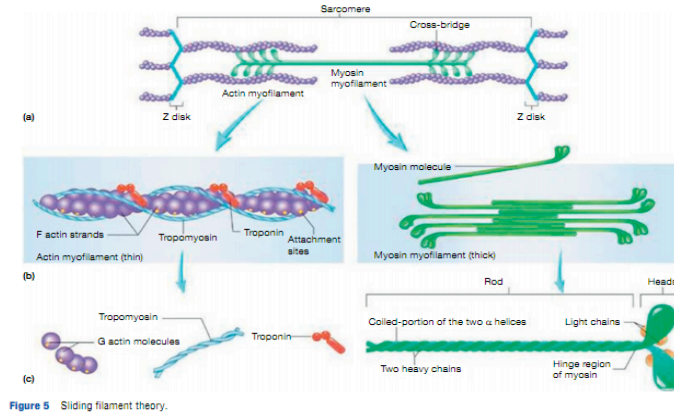
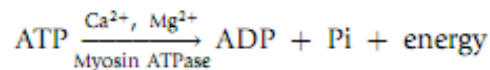


Figure 5 Sliding filament theory.

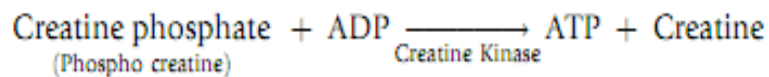
*The Encyclopedia of Food and Health, (2016), vol. 4, pp. 795-801*

## 5. Energi Diperlukan untuk Kontraksi Otot

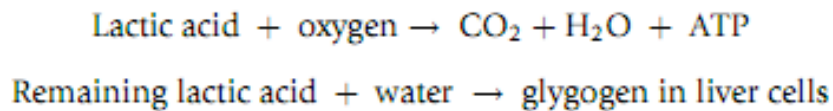
Energi untuk kontraksi otot diberikan oleh konversi ATP menjadi adenosine difosfat (ADP) dan fosfat anorganik, melepaskan energi. Enzyme myosins ATPase mengkatalisis reaksi dengan adanya ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$



ATP yang digunakan dipulihkan untuk kontraksi tambahan, jadi phosphocreatine sekarang masuk ke dalam gambar. Ini menyumbangkan ikatan fosfat berenergi tinggi ke ADP, menghasilkan ATP. Reaksi ini dikatalisasi oleh enzim creatine kinase



Ketika creatine phosphate digunakan, ATP baru dihasilkan oleh respirasi aerobik di sel otot. Jika ATP digunakan lebih cepat daripada serat otot dapat menghasilkan aerobik, maka serat otot memulai respirasi anaerobik untuk menyediakan ATP. Ini menghasilkan asam laktat. Asam laktat ini menyebar ke dalam darah, menyisakan sebagian kecil untuk berakumulasi dalam serat otot. Bagian utama dari asam laktat dilewatkan ke hati, di mana ia teroksidasi menjadi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Energi yang dilepaskan dari oksidasi ini digunakan untuk mengubah asam laktat yang tersisa menjadi glikogen.



#### 6. Perubahan Biokimia Selama Kontraksi Otot

Selama kontraksi otot sejumlah perubahan biokimia terjadi. Dalam serat otot istirahat, sarcolemma adalah elektropositif di luar dan di dalam elektronegatif. Perbedaan potensial ini melintasi membran disebut potensial istirahat. Membran dengan potensi istirahat seperti itu dikatakan terpolarisasi. Ion  $\text{Na}^+$  mendominasi bagian luar sarcolemma, dan ion kalium mendominasi bagian dalam. Karena perbedaan konsentrasi pada kedua sisi sarcolemma, ion kalium keluar dan ion natrium memasuki serat otot. Sarcolemma lebih permeabel terhadap ion  $\text{K}^+$  daripada ion natrium. Oleh karena itu ion kalium meninggalkan serat otot lebih cepat daripada ion natrium masuk, dan ini membangun muatan positif di luar. Ketika impuls saraf motorik mencapai sambungan neuromuskular, vesikula yang hadir di pelat ujung motor mengeluarkan kimia neurotransmiter yang disebut asetilkolin (Ach). Ini mengikat reseptor pada sarcolemma dan membuatnya lebih permeabel ke  $\text{Na}^+$  daripada  $\text{K}^+$  sehingga natrium cepat berdifusi di sepanjang gradien konsentrasi dan gradien listrik. Sekarang sarcolemma menjadi elektropositif di dalam dan di luar elektronegatif. Perbedaan potensial baru ini disebut potensial aksi. Sarkoma yang demikian disebut depolarized. Potensi aksi merangsang retikulum sarkoplasma untuk melepaskan ion kalsium, yang kemudian memulai perubahan biokimia dalam kontraksi otot. Ion kalsium dan magnesium bertindak sebagai kofaktor untuk enzim ATPase myosin, yang menghidrolisis ATP menjadi ADP dan pelepasan energi fosfat anorganik.

#### 7. Kontrol Kontraksi

Otot rangka disusun dalam ratusan unit motor, yang masing-masing merupakan neuron motorik dan sekelompok serabut otot. Respons bergradasi pada suatu keadaan akan melibatkan pengontrolan jumlah unit motor. Sementara unit otot individu berkontraksi sebagai unit, seluruh otot dapat berkontraksi secara bertingkat karena organisasinya menjadi unit motor. Sambungan neuromuskular adalah titik di mana neuron motor

menempel pada otot. Ach dilepaskan dari ujung akson sel saraf ketika impuls saraf mencapai persimpangan. Gelombang muatan listrik dihasilkan dalam sel otot ketika Ach mengikat reseptor di permukaannya. Kalsium dilepaskan dari area penyimpanannya di retikulum. Dorongan dari sel saraf menyebabkan pelepasan kalsium dan menyebabkan kontraksi otot pendek yang disebut kedutan (Gambar 7).

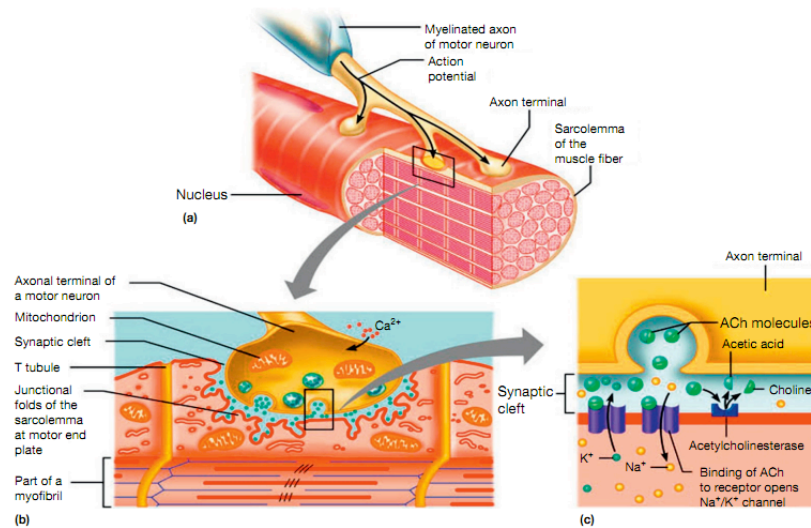


Figure 7 Schematic representation of mechanism of control of muscle contraction.

## 8. Gangguan yang Mempengaruhi Otot Rangka / *Skeletal Muscle*

Beberapa penyakit yang paling umum mempengaruhi otot rangka termasuk myasthenia gravis, distrofi otot dan fibromyalgia. Gangguan otot primer lainnya termasuk miopati inflamasi, termasuk polymyositis, yang ditandai dengan peradangan dan melemahnya progresif SM. Gejala yang paling umum gangguan otot adalah kelemahan. Selain itu gejalanya termasuk kelelahan abnormal dengan aktivitas, serta kejang otot dan nyeri. Elektromiografi sering digunakan untuk mendiagnosis gangguan otot. Ini membantu untuk mengkarakterisasi penyebab gangguan saraf dan otot dengan merangsang syaraf dan mencatat respons.

## 9. Penanggulangan Trauma Sistem Muskuloskeletal

Ada enam prinsip umum penanggulangan trauma sistem muskuloskeletal menurut Pusponegoro A.J (2007), yaitu sebagai berikut

### a. Pertolongan yang Aman Bagi Pasien

Dalam menanggulangi trauma sistem muskuloskeletal harus disadari bahwa pemilihan metode pengobatan selalu mengandung resiko komplikasi. Akibat komplikasi tersebut kadang – kadang timbul keadaan yang lebih buruk dibandingkan dengan keadaan pertama sebelum diobati. Keadaan ini disebut iatrogenic. Sebagai contoh akibat pemasangan gips atau traksi yang berlebihan akan mengakibatkan kerusakan kulit, pembuluh darah, dan saraf. Oleh karena itu, sebaiknya sebelum pengobatan dimulai harus disadari betul bahwa suatu pengobatan kadang – kadang seperti pedang bermata dua.

b. Pengobatan Berdasarkan Diagnosis yang Tepat

Hal ini terutama ditekankan pada diagnosis klinis dan radiologis dari suatu fraktur. Kepentingan diagnosis selain untuk memilih suatu jenis pengobatan, juga penting untuk prognosis penyakit. Dengan diagnosis yang tepat dapat ditentukan apakah suatu fraktur perlu dilakukan reposisi tertutup atau terbuka dan sekaligus dapat ditentukan jenis imobilisasinya dengan fiksasi eksternal atau internal.

c. Pengobatan yang Terarah

Untuk penanggulangan fraktur, hal penting yang harus dilakukan adalah sebagai berikut.

- Mengurangi rasa sakit

Rasa sakit timbul dari jaringan – jaringan lunak sekitar fraktur, *priosteum*, dan *endosteum* yang robek. Rasa sakit ini makin hebat jika terjadi gesekan antara fragmen – fragmen tulang disertai dengan kadanyan pembengkakan yang progresif dalam ruang yang tertutup. Untuk mengurangi rasa sakit didaerah yang fraktur dilakukan imobilisasi dan hindari pemakaian verban yang cukup ketat. Selain itu pemberian obat – obat analgesic perlu diberikan.

- Mengusahakan dan mempertahankan posisi fragmen tulang dengan baik

Fraktur yang *undispalced* atau sedikit *displaced* tidak perlu dilakukan tindakan reposisi. Freposisi hanya diperlukan bila terjadi *displacement* yang hebat sehingga dengan tindakan reposisi diharapkan hasilnya cukup baik dalam fungsi atau dalam bentuk klinisnya. Untuk

mempertahankan hasil reposisi diperlukan imobilisasi. Macam – macam imobilisasi, yaitu *continuous fraction*, *pleaster of paris cast*, *Internal Fixation*, semua tergantung jenis dan lokalisasi fraktur tersebut.

- Mengusahakan tercapainya Bony Union

Umumnya fraktur yang sederhana tanpa kerusakan yang berat dari jaringan lunak dan periosteum akan tersambung dengan baik dalam waktu tertentu, bila diberikan imobilisasi yang cukup baik. Namun bila terjadi kerusakan yang berat dari periosteum dan jaringan lunak sekitarnya, kemungkinan penyambungan tidak terjadi, karena terjadi avascular nekrosis dari fragmen – fragmen tulang yang fraktur. Untuk mengusahakan terjadinya penyambungan dilakukan tindakan *autogenous bone graft*

- Mengembalikan fungsi bagian tubuh yang cedera seoptimal mungkin

Selama imobilisasi pada fraktur diusahakan untuk mencegah terjadinya *disuse* atrofi otot dengan cara melakukan gerakan – gerakan *active static* ( isometrik ) dan gerakan *active dynamic* (isotonik) untuk otot –otot yang tidak diimobilisasi, dengan harapan latihan tersebut dapat memperbaiki sirkulasi lokal, setelah imobilisasi dilepas, latihan – latihan aktif masih harus dilanjutkan.

d. Perhatikan Laws of Nature

Sebesar apapun kerusakan pada sistem muskuloskeletal, secara alamiah kekuatan alam dapat memperbaikinya, sehingga semua pengobatan yang diberikan hanyalah suatu saran untuk mencapai penyembuhan yang sempurna (baik fungsi atau bentuknya), sedangkan penyembuhannya sendiri, alam yang mengatur.

e. Realistik

Pengobatan harus berdasarkan fakta. Suatu fraktur dapat sembuh dengan pengobatan non operatif (traksi). Namun fakta lain membuktikan bahwa terapi nonoperatif memerlukan waktu yang lama. Terlebih pada pasien fraktur lansia. Komplikasi pengobatan nonoperatif lebih membahayakan. Untuk itu pengobatan operatif dapat diterima. Contohnya pada fraktur *perrokranter* orang tua, pengobatan

operatif dengan memasang fiksasi interna dapat diterima, walaupun pada fraktur semacam ini umumnya dengan terapi nonoperatif (traksi) cukup baik hasilnya.

f. Pertimbangan Kasus Per Kasus

Patah tulang akan memberikan persoalan yang berbeda – beda pada individu terutama berhubungan dengan umur, seks, dan pekerjaan. Contoh : *malunion klavikula* pada anak – anak karena daya *remodelling* besar, malunion ini bukan merupakan persoalan. Akan tetapi pada orang dewasa, lebih – lebih pada wanita yang pekerjaannya selalu berhadapan dengan masyarakat umum (artis), hal tersebut merupakan masalah.

### E. Adaptasi dari Sistem Otot saat Latihan

Pelatihan atau olahraga secara teratur dalam jangka waktu yang lama akan memungkinkan sistem otot tubuh berubah dan beradaptasi. Misalnya, akan melihat bahwa otot berubah ukurannya jika melakukan program latihan kekuatan atau perlawanan. Perubahan semacam itu dikenal sebagai adaptasi kronis terhadap olahraga.

➤ Hipertrofi

Pelatihan ketahanan reguler di mana otot-otot kelebihan beban akan meningkatkan ukuran dan kekuatan otot. Peningkatan ukuran otot adalah hasil dari serat-serat otot menjadi lebih besar karena peningkatan protein dalam sel-sel otot; ini dikenal sebagai hipertrofi. Serabut otot meningkat dalam ukuran dari waktu ke waktu sehingga mereka dapat berkontraksi dengan kekuatan yang lebih besar.

➤ Meningkatnya kekuatan tendon

Tendon adalah pita kuat dari jaringan ikat fibrosa yang dirancang untuk menahan ketegangan. Seperti otot, tendon beradaptasi dengan latihan rutin yang berlebihan. Ligamen dan tendon, struktur jaringan ikat di sekitar sendi, akan meningkatkan fleksibilitas dan kekuatan dengan olahraga teratur. Tulang rawan juga menjadi lebih tebal.

➤ Peningkatan jumlah dan ukuran mitokondria

Ketika otot kelebihan beban sebagai bagian dari pelatihan resistensi, serat otot akan menjadi lebih besar (hipertrofi). Di dalam serat otot ini adalah struktur kecil yang disebut mitokondria yang bertanggung jawab

untuk produksi energi. Karena peningkatan ukuran serat, ada ruang untuk mitokondria yang lebih banyak dan lebih besar, yang menghasilkan otot-otot yang mampu menghasilkan lebih banyak energi aerobik yang akan meningkatkan kinerja aerobik.

➤ Peningkatan Mioglobin

Mioglobin adalah sejenis hemoglobin (protein merah yang ditemukan dalam darah yang digunakan untuk mengangkut oksigen) yang ditemukan secara eksklusif di otot. Bertanggung jawab untuk mengikat dan menyimpan oksigen dalam darah di dalam otot rangka. Dengan mengikuti program latihan yang direncanakan, dapat meningkatkan jumlah mioglobin yang tersimpan di otot. Ini penting karena mioglobin akan mengangkut oksigen ke mitokondria yang pada gilirannya akan melepaskan energi. Semakin banyak mioglobin yang dimiliki, semakin banyak energi yang tersedia untuk otot.

➤ Peningkatan penyimpanan glikogen tubuh membutuhkan pasokan glikogen yang konstan dan stabil untuk menghasilkan energi. Ketika tubuh beradaptasi dengan olahraga jangka panjang, otot-otot dapat menyimpan lebih banyak glikogen. Ini berarti bahwa akan dapat berlatih dengan intensitas yang lebih tinggi lebih lama, karena glikogen otot tidak memerlukan oksigen untuk menghasilkan energi.

➤ Peningkatan penyimpanan lemak dapat menggunakan toko lemak untuk menghasilkan energi melalui proses yang disebut glikolisis aerobik. Atlet yang terlatih dengan baik dapat menggunakan lemak ini dengan lebih efisien, memecahnya menjadi asam lemak dan menjadi energi menggunakan oksigen. Ini memungkinkan mereka untuk menggunakan lemak sebagai sumber energi ketika karbohidrat menjadi langka.

➤ Toleransi yang meningkat terhadap pelatihan anaerob laktat menstimulasi otot-otot untuk menjadi lebih mampu menahan asam laktat, dan membersihkannya lebih efisien. Dengan pelatihan ketahanan jaringan kapiler memanjang, memungkinkan volume darah yang lebih besar untuk memasok otot dengan oksigen dan zat gizi. Otot-otot dapat menggunakan lebih banyak lemak sebagai sumber bahan bakar, dan menjadi lebih efisien dalam menggunakan oksigen, meningkatkan kemampuan tubuh untuk bekerja lebih keras untuk lebih lama tanpa

melelahkan. Hasil akhirnya adalah peningkatan konsumsi oksigen maksimal tubuh.

#### DAFTAR PUSTAKA

- 1 Adam R. Konopka<sup>1</sup> and Matthew P. Harber<sup>2</sup>. Skeletal Muscle Hypertrophy after Aerobic Exercise Training. *Exerc Sport Sci Rev*. 2014 April ; 42(2): 53–61.
- 2 Giriwijoyo, Santosa *et al.* 2013. *Ilmu Faal Olahraga (Fisiologi Olahraga)*. Bandung : PT Remaja Rosdakarya Offset.
- 3 Guggenheim, K. Y. *Rudolf Schoenheimer and the concept of the dynamic state of body constituents*. *Journal of Nutrition*, vol. 121, no. 11, pp. 1701–1704, 1991.
- 4 Lindholm MA, Giacomello S, Solnestam BW, Fischer H, Huss M, Kjellqvist S, dan Sundberg CJ. (2016). The Impact of Endurance Training on Human Skeletal Muscle Memory, Global Isoform Expression and Novel Transcripts. *Journal PGEN*. 1006294. DOI:10.137.
- 5 Luklukaningsih, Z. 2014. *Anatomi, Fisiologi, dan Fisioterapi*. Yogyakarta: Nuha Medika.
- 6 Lukman, Ns dan Nurma Ningsih. 2009. *Asuhan Keperawatan pada Klien dengan Gangguan Sistem Muskuloskeletal*. Jakarta : Salemba Medika.
- 7 Nayak NK, Khedkar GD, Khedkar CC, dan Khedkar CD. 2016. *Skeletal Muscle*. In: *Caballero, B, Finglas, p dan Toldra F*. The Encyclopedia of Food and Health vol.4, 795-801. Oxford: Academic Press.
- 8 Seikel JA, King DW, Drumright DG. (2005). *Anatomy and Physiology for speech, language, and hearing*. Australia: Clifton Park, NY Thomson Delmar Learning.
- 9 Warburton DE, Charlesworth S, Ivey A, Nettlefold L, Bredin SS. (2010). A Sistematic Review of The Evidence for anada's Physical Activity Guidelines for Adults. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. Doi: 10.1186/1479-5868-7-39.
- 10 Wirasmita, Ricky. 2014. *Ilmu Urai Olahraga II*. Bandung : Alfbeta.