



Modul 7
FPG 122-Ilmu Perkembangan Gerak

Materi 7
Perubahan Sistem Muskular

Disusun Oleh
Wahyuddin

UNIVERSITAS ESA UNGGUL
2020

Pendahuluan

Otot adalah massa jaringan terbesar di tubuh. Ada tiga jenis otot: sukarela (skeletal), tak sadar (halus), dan jantung. Ketiga jenis otot ini selanjutnya dibagi menjadi dua subtipe otot: lurik dan non lurik. Otot polos adalah contoh tunggal dari jenis nonstriated dan ditemukan di dinding sistem pencernaan, kandung kemih, dan pembuluh darah. Kontraksi otot polos pada struktur ini mengurangi diameternya. Sel-sel memiliki panjang 10 hingga 600 μm dan 2 hingga 12 μm . Mereka berbentuk spindle dan memiliki inti tunggal yang ditempatkan secara terpusat.

Otot jantung dan tulang tersusun atas otot lurik. Otot jantung adalah bentuk khusus dari otot lurik yang hanya ditemukan di jantung. Susunan protein kontraktilnya identik dengan otot rangka, tetapi susunan seratnya berbeda. Sel-sel jantung bergabung bersama oleh persimpangan interselular khusus yang terlihat dalam mikroskop cahaya sebagai garis berat gelap antara sel-sel. Sel-sel itu berbentuk tidak teratur dan biasanya mengandung nukleus tunggal yang ditempatkan secara terpusat.

Otot rangka, fokus umumnya dianggap sebagai pengguna energi utama tubuh dan memberikan kekuatan pendorong untuk bergerak dan melakukan aktivitas fisik. Otot rangka berbentuk lurik, bergaris, atau segmen. Sekitar 20% dari energi yang dihasilkan selama kontraksi otot digunakan untuk menghasilkan gerakan; sisanya hilang karena panas. Ada lebih dari 500 otot rangka dalam tubuh. Pada tingkat mikroskopis, sel-sel otot dianggap berbentuk silinder. Panjangnya berkisar dari 1 hingga 40 μm dan berdiameter 10 hingga 100 μm . Sel-selnya berinti banyak, dengan nukleus terletak di pinggiran sel atau tepat di bawah *sarcolemma*, atau membran plasma. Di luar sarcolemma adalah lapisan serat kolagen yang sangat glikosilasi yang disebut *lamina eksternal*; itu adalah lamina eksternal yang sepenuhnya melindungi setiap sel. Lapisan ini juga mengandung protein yang berfungsi sebagai enzim.

Otot kerangka diatur dari tingkat makroskopis ke mikroskopis. Arsitektur otot adalah "susunan serat otot dalam otot relatif terhadap sumbu generasi kekuatan. Fungsi otot sebagian besar ditentukan oleh arsitektur otot. Perbedaan arsitektur antara otot adalah prediktor terbaik dari produksi kekuatan. Ada banyak desain otot yang berbeda. Otot biasanya dikategorikan ke dalam satu dari tiga jenis: longitudinal, pennate, dan multipennate. Dalam satu jenis, yang disebut arsitektur paralel atau longitudinal, serat-serat otot disusun sejajar dengan sumbu penghasil gaya seperti

yang terlihat pada biceps. Dalam tipe kedua yang disebut arsitektur pennate, serat-seratnya disusun pada sudut yang relatif terhadap sumbu penghasil gaya, seperti yang terdapat pada vastus lateralis. Pada tipe ketiga, multipennate, serat disusun pada berbagai sudut relatif terhadap sumbu penghasil gaya, seperti terlihat pada gluteus medius. Arsitektur otot juga mencakup panjang serat dalam otot dan area penampang otot. Desain otot mencerminkan pola penggunaan fungsional otot itu.

Seluruh otot terbungkus dalam selubung serat kolagen tebal yang disebut *epimysium*. Ekstensi selubung ini meluas ke bagian dalam otot, membaginya menjadi bundel kecil atau kelompok serat myofibers yang disebut fascicles. Setiap bundel atau jilid yang dikelilingi oleh lapisan jaringan ikat yang disebut *perimysium* di dalam fascicle, masing-masing individu myofiber dikelilingi oleh lapisan jaringan ikat yang disebut *endomysium*. Endomysium kaya akan kapiler dan, pada tingkat lebih rendah, serabut saraf. Semua penutup jaringan yang terhubung akhirnya datang bersama di persimpangan tendinous; tendon mentransmisikan semua kekuatan kontraktile yang dihasilkan oleh serat otot ke tulang.

Setiap myofiber individu diisi dengan bundel silinder myofibrils yang terdiri dari myofilaments. Myofibril adalah struktur kontraktile otot. Filamen aktin dan miosin disusun dalam kelompok paralel. Aktin dan miosin adalah protein kontraktile. Aktin, fil yang lebih tipis, berasal dari disk Z; miosin adalah filin yang lebih tebal. Selama kontraksi otot, ketika dua disk Z bergerak berdekatan, filamen aktin dan miosin saling bergeser. Area dari satu disk Z ke disk Z berikutnya membentuk sarkomer, yang merupakan unit kontraktile dasar dari serat otot. Striasi, pola cahaya dan gelap bolak-balik pada sarkomer yang terlihat di bawah mikroskop cahaya, mencerminkan jumlah tumpang tindih filamen aktin dan miosin. Myofibrils juga mengandung protein reguler tropomyosin dan troponin dan protein tambahan, titin dan nebulin. Titin dan nebulin menjaga keselarasan filamen aktin dan miosin dalam sarkomer. Tropomyosin dan troponin keduanya terlibat dalam kontraksi otot. Troponin adalah Ca^{2+} kompleks protein pengikat yang melekat pada tropomyosin.

Bagian sagital dari ikatan otot yang menunjukkan susunan *retikulum sarkoplasma* (SR), suatu sistem saluran anastomosis membran yang terkait erat dengan permukaan setiap myofibril. Di kaki SR terdapat protein penerima tegangan sensitif: reseptor ryanodine (RyR) dan kalsium-ATPase (Ca-ATPase). Kalsium (Ca^{2+}) yang disimpan dalam SR diperlukan untuk kontraksi otot. RyR merasakan potensi aksi dan membuka saluran kalsium untuk memungkinkan kalsium dilepaskan ke

wilayah myofilament. Sistem *tubular transversal* (tubulus T) berisi tubulus yang merupakan perluasan dari sarcolemma yang masuk jauh ke bagian dalam serat otot. Fungsi tubulus T adalah untuk memperpanjang gelombang depolarisasi yang memicu kontraksi otot di seluruh miofibril otot. Ca-ATPase memompa kalsium kembali ke SR, memungkinkan otot untuk rileks. RyR dan Ca-ATPase adalah dua protein pengatur kalsium utama yang terlibat dalam proses penggabungan eksitasi-kontraksi.

Eksitasi-Kontraksi

Eksitasi-kontraksi adalah mekanisme yang menghubungkan stimulasi membran plasma dengan produksi kekuatan lintas-jembatan. Otot menerima sinyal saraf dan mengubah sinyal itu menjadi kekuatan mekanik setelah disinkronkan di persimpangan neuromuskuler. Ekspansi akson ke dalam pelat ujung motor yang menjadi sandaran pada depresi permukaan myofiber. Sinyal kimia berasal dari pelepasan asetilkolin (ACh).

Potensi aksi otot yang dihasilkan oleh eksitasi-kontraksi memicu sinyal kalsium. Sinyal kalsium mengaktifkan siklus kontraksi-relaksasi. *Kontraksi* mengacu pada aktivasi siklus lintas-jembatan. Ca^{2+} mengaktifkan kekuatan menarik antara filamen aktin dan miosin dengan mengikat troponin. Namun, proses kontraksi hanya akan berlanjut jika ada energi; energi ini berasal dari ikatan berenergi tinggi adenosin trifosfat (ATP), yang terdegradasi menjadi adenosin difosfat (ADP). Di depan Ca^{2+} dan ATP, kepala molekul myosin membentuk jembatan silang dengan situs aktif pada filamen tipis aktin. Energi yang dihasilkan menghasilkan perubahan konformasi di daerah kepala myosin yang mengarahkan kekuatan terarah pada filamen aktin. Akibatnya, filamen aktin ditarik ke arah pusat sarkomer, tumpang tindih filamen miosin. Hasil akhirnya adalah pemendekan sarcomere, atau kontraksi otot. Satu ATP diperlukan untuk setiap siklus lintas-jembatan. Setelah pembentukan lintas-jembatan selama fase kontraksi dari eksitasi-kontraksi, relaksasi terjadi. Ca-ATPase memompa kalsium kembali ke SR, menurunkan kadar kalsium dan menghasilkan relaksasi otot. Konsentrasi kalsium harus turun untuk memungkinkan pengikatan Ca^{2+} dari troponin. Filamen meluncur kembali ke posisi awal mereka dibantu oleh jaringan ikat elastis di dalam otot dan titin. Singkatnya, asetilkolin memulai eksitasi-kontraksi, dan kalsium yang mengikat troponin mengawali

kontraksi otot. Kedutan otot identik dengan siklus kontraksi-relaksasi tunggal dalam serat otot rangka.

Tipe Serat Otot

Otot dapat digambarkan berdasarkan kecepatan sebagai tipe I atau tipe II. Serat otot juga dapat diklasifikasikan sesuai dengan kemampuan metaboliknya. Semua otot manusia adalah campuran dari tiga jenis serat. *Serat otot tipe I* diklasifikasikan sebagai oksidatif lambat karena mereka menggunakan glikolisis lambat dan fosforilasi oksidatif untuk menghasilkan ATP. Kedutan lambat, serat tipe I memiliki diameter kecil, dengan sejumlah besar enzim oksidatif dan kepadatan kapiler yang luas. Serat tipe I paling cocok untuk kegiatan yang diperlukan dalam kontraksi berulang, kekuatan rendah dan dianggap tahan lelah. Hanya serat lambat yang ditemukan pada otot telinga ekstraokuler dan tengah. Sebagian besar otot "postural", seperti yang terkait dengan tulang belakang atau ekstremitas bawah,

Motor Unit

Fungsional otot adalah *motor unit*, yang didefinisikan sebagai tubuh sel saraf tunggal dan aksonnya ditambah semua serat otot yang dipersarafi oleh cabang cabang akson. Semua serat otot unit motor adalah dari jenis serat yang sama. Setiap serat otot menerima persarafan dari satu neuron. Intensitas kontraksi otot dinilai berdasarkan jumlah unit motor yang direkrut dan laju penembakan. Jumlah serat otot dalam unit motor bervariasi sesuai dengan otot. Sebagai contoh, pada otot-otot besar tungkai bawah, ukuran unit motor berkisar dari sekitar 500 hingga 1000 serat. Sebaliknya, otot-otot kecil di tangan atau otot ekstraokular memiliki unit motorik yang berkisar dari sekitar 10 hingga 100 serat. Otot-otot ini mampu menghasilkan gerakan yang sangat halus, seperti mengetik, mengikat busur, atau membuat sedikit penyesuaian mata.

Perekrutan adalah proses meningkatkan jumlah unit motor yang berkontraksi dalam otot pada waktu tertentu. Proses rekrutmen mengikuti prinsip ukuran, dengan unit motor kecil direkrut sebelum unit motor yang lebih besar. Neuron motorik kecil yang direkatkan oleh serat tipe I oksidatif lambat dipecah terlebih dahulu, diikuti oleh oksidatif-glikolitik cepat, tipe IIa, dan, akhirnya, serat tipe IIx glikolitik cepat.

Perkembangan Otot Skeletal

Prenatal

Untuk memahami beberapa perubahan terkait usia pada otot rangka, penting untuk mempelajari peristiwa perkembangan otot rangka. Sistem otot berkembang dari mesoderm, kecuali untuk otot iris, yang berkembang dari neuroectoderm.

Jenis sel yang penting untuk dipertimbangkan adalah sel prekursor myogenik, myoblast, myotube, myofibers, fibroblast, dan sel satelit. Gen spesifik otot dalam sel mesenkim premus ini dihidupkan oleh faktor regulasi. Paparan faktor pertumbuhan menghasilkan *myoblasts*, yang merupakan sel berbentuk spindle dengan inti memanjang yang ditempatkan di pusat. sementara sel-sel ini memang mulai memproduksi aktin dan miosin, peran terbesar mereka adalah untuk bergabung bersama untuk membentuk silinder besar, multi-nukleasi yang disebut myotube. Mereka sejajar dengan konfigurasi mirip rantai yang sejajar dengan sumbu panjang tungkai. Setiap syncytium (massa multinukleat protoplasma yang dihasilkan oleh penggabungan sel) mengandung sejumlah inti yang bervariasi hingga beberapa ratus. Fusi seluler melalui disintegrasi membran plasma myoblasts dan myotube yang berdekatan saat ini merupakan penjelasan bagaimana sel otot lurik menjadi berinti banyak.

Myotube adalah sel otot multinukleasi yang belum matang. nukleus terletak di pusat sel silinder yang memanjang ini. Protein kontraktile aktin dan miosin disintesis dengan cepat dan menjadi jelas sebagai fibril lurik dalam sitoplasma perifer. Protein pengatur lainnya, seperti troponin dan tropomyosin, juga disintesis. Ada dua jenis myotubes: primer dan sekunder. Myotube primer adalah yang pertama kali berkembang secara prenatal pada usia kehamilan 5 minggu. Beberapa minggu kemudian, myotube sekunder berkembang.

Mayoritas myotube telah bergabung untuk membentuk *myofibers*. *Myofibers* adalah sel-sel otot multinukleat yang matang yang lebih umum disebut serat otot. Serat-serat myofibers mengandung karakteristik, atau sarkoma, dari otot rangka. Migrasi perifer dari nuklei menandai diferensiasi myotube menjadi serat otot.

Fibroblast adalah sel-sel yang pipih dan tidak beraturan yang ditemukan dalam kaitannya dengan myofibers yang sedang berkembang. Selama tahap awal perkembangan, sel-sel ini menyediakan matriks ekstraseluler di mana kerangka jaringan ikat otot dikembangkan. Fibroblast membentuk perimysium dan epimysium.

Jenis sel terakhir yang dibahas adalah *sel satelit*. Sel-sel mononucleated, berbentuk spindle ini terkait erat dengan permukaan serat myofibers. Mereka ditemukan antara lamina basal dan serat otot dan dapat diidentifikasi secara positif hanya dengan mikroskop elektron. Sel-sel satelit memainkan peran integral dalam pertumbuhan otot normal selama periode pascanatal dan dalam perbaikan otot setelah cedera. Saat lahir, inti sel satelit menyumbang lebih dari 30% dari total inti myofiber.

Peran sel-sel satelit selama pertumbuhan post-natal normal adalah untuk memasok inti ke serat yang membesar. Meskipun myoblasts merupakan populasi sel yang berkembang biak dengan cepat selama perkembangan embrionik, setelah dimasukkan ke dalam syncytium myofiber, mereka tidak lagi meniru DNA atau membelah. Nukleus secara permanen postmitotic setelah mereka menjadi bagian dari syncytium. Namun, ketika serat myof mengingkatkan ukuran selama pertumbuhan, jumlah inti meningkat, dalam beberapa kasus lebih dari 100 kali. Peningkatan myonuclei ini tergantung pada sel-sel satelit yang terkait dengan serat. Sel-sel ini terus membelah. Setelah pembagian mitosis, satu atau kedua sel anak berfusi dengan serat, sehingga menyuntikkan nukleus tambahan ke dalam syncytium. Demikian juga, jika terjadi cedera besar pada otot, serat myofibers biasanya mati. Serat otot baru dapat dibentuk oleh sel-sel satelit yang masih hidup. Diaktifkan oleh stres, sel-sel satelit mengulangi peristiwa embrionik yang mengarah pada pembentukan otot. Otot yang rusak diperbaiki atau diganti. Meskipun kemampuan sel-sel satelit signifikan, otot yang rusak mungkin tidak sepenuhnya mendapatkan kembali kekuatannya. Otot mengkompensasi hilangnya sisa jaringan dengan meningkatkan ukuran serat yang tersisa.

Seperti yang dinyatakan sebelumnya, jaringan otot berkembang dari sel-sel primitif yang disebut myoblasts, yang berasal dari sel-sel mesenkimal. Otot (myotom) dan segmen tulang (sklerotom) pada tulang belakang dan kulit atasnya (dermatom) berasal dari somit, massa mesoderm berpasangan yang terletak di kedua sisi tabung saraf. Setiap miotom segmental terpisah menjadi divisi epaxial dan hypaxial. Myoblasts dari divisi epaxial menjadi otot ekstensor pada leher dan kolumna vertebralis. Myoblasts dari divisi hypaxial menjadi otot aksesori leher dan otot trunkus lateral dan ventral. Otot-otot ekstremitas berkembang dari myoblasts terletak di wilayah dahan yang mengelilingi mengembangkan tulang.

Diferensiasi menjadi jenis serat terjadi sekitar waktu yang sama dengan serat dipersarafi. Myotube primer dipersarafi terlebih dahulu. Pembentukan persimpangan myoneural dimulai dengan pengembangan reseptor ACh di pinggiran myotube pada sekitar 8 minggu kehamilan. Ini bertepatan dengan gerakan janin paling awal yang diamati pada otot-otot intrinsik. Sebelum lahir, setiap pelat ujung motor menerima banyak akson. Persarafan polineuronol ini memastikan bahwa akan ada setidaknya satu akson untuk setiap serat otot. Antara usia kehamilan 16 dan 25 minggu, terdapat sekarat koneksi tambahan dan dengan demikian transisi ke invasi mononeuronol menunjukkan unit motor klasik. Selama paruh terakhir kehamilan, ada juga peningkatan luar biasa dalam jumlah dan ukuran serat otot. Peningkatan jumlah ini terutama dari myotube sekunder. Lima belas persen dari massa tubuh pada janin di pertengahan kehamilan disebabkan oleh otot. Massa otot menyumbang 25% dari berat tubuh seseorang saat lahir.

Perubahan Jenis Serat

Otot berkembang dari dua jenis berbeda yaitu primer dan sekunder. Myotubes primer berkembang dan berdiferensiasi menjadi serat otot tanpa neural input; Namun, myotube sekunder membutuhkan input saraf untuk pengembangan. Secara umum, miomag primer Tabung menjadi serat tipe I, dan myotube sekunder menjadi serat tipe II. Karena serat tipe I melekat sebelum serat tipe II, serat tersebut adalah yang pertama terlihat pada janin. Serat tipe II umumnya tidak teridentifikasi sampai usia kehamilan 30 atau 31 minggu. Penelitian telah menyimpulkan bahwa antara 31 dan 37 minggu kehamilan, serat tipe II merupakan sekitar 25% dari serat otot yang ada pada janin. Invasi oleh serabut saraf motorik diperlukan untuk diferensiasi penuh serabut otot.

Perkembangan dan Migrasi Serat

Hampir semua otot rangka hadir dan pada dasarnya menunjukkan bentuk yang matang pada akhir periode embrionik (kehamilan 8 minggu). Sekitar enam proses fundamental terjadi selama 8 minggu pertama pengembangan. Pembentukan otot adalah hasil dari satu atau lebih proses ini. Keenam proses dasar seperti adalah sebagai berikut:

1. Arah serat otot dapat berubah dari orientasi cephalocaudal asli di myotome. Hanya beberapa otot yang mempertahankan orientasi serat awalnya (sejajar dengan sumbu panjang tubuh); contohnya adalah rektus abdo- minis dan erector spinae.
2. Bagian-bagian dari myotom yang berurutan biasanya bergabung membentuk otot komposit tunggal. Contoh dari proses ini adalah rectus abdominis. Otot ini dibentuk oleh perpaduan bagian ventral dari enam atau tujuh myotoma toraks terakhir.
3. Myotome dapat membelah secara longitudinal menjadi dua atau lebih bagian yang menjadi otot yang terpisah; contoh dari proses ini adalah otot trapezius dan sternocleidomastoid.
4. Massa myotome asli dapat dipecah menjadi dua atau lebih lapisan. Otot-otot interkostal adalah turunan dari myotom tunggal, yang terbagi menjadi dua lapisan: otot-otot interkostal dan eksternal.
5. Sebagian otot atau seluruh otot dapat mengalami degenerasi. Otot yang mengalami degenerasi meninggalkan selebar jaringan ikat yang dikenal sebagai *aponeurosis*. Aponeurosis epikranial yang menghubungkan bagian frontal dan oksipital otot oksipitofrontalis adalah contoh dari proses khusus ini.
6. Proses terakhir melibatkan migrasi otot myotome dari situs formasinya ke daerah yang lebih terpencil. Pembentukan otot-otot dada bagian atas adalah contoh dari proses ini. Otot anterior serratus bermigrasi ke daerah toraks dan akhirnya menempel pada tulang belikat dan delapan atau sembilan tulang rusuk bagian atas. Migrasi otot ini membawa saraf tulang belakang leher kelima, keenam, dan ketujuh untuk persarafan. Migrasi otot latissimus dorsi bahkan lebih luas. Migrasi ini disertai dengan persarafan saraf tulang belakang serviks ketujuh dan kedelapan untuk melekat pada humerus, tulang belakang dan tulang belakang yang lebih rendah, tiga atau empat tulang rusuk terakhir, dan lambung ilium tulang panggul. Dalam perkembangan otot, berbagai variasi dari enam proses ini dapat terjadi tanpa mengganggu kemampuan fungsional normal individu. Dalam perkembangan otot, berbagai variasi dari enam proses ini dapat terjadi tanpa mengganggu kemampuan fungsional normal individu.

Masa Pertumbuhan Hingga Remaja

Pertumbuhan otot rangka pada tahun pertama kehidupan merupakan hasil dari peningkatan ukuran serat individu dan mungkin banyaknya serat otot. Meskipun peningkatan terbesar dalam jumlah serat otot terjadi sebelum kelahiran, peningkatan jumlah serat otot memang terjadi selama tahun pertama perkembangan postnatal. Peningkatan jumlah serat dicapai dengan diferensiasi mioblas menjadi miofibril sekunder atau dengan pembelahan sel yang sudah ada. Setelah lahir, pertumbuhan otot terutama berasal dari peningkatan ukuran serat individu. Ukuran serat otot rata-rata saat lahir adalah sekitar 12 μm .

Diferensiasi serat otot berlanjut ke kehidupan pascakelahiran. Saat lahir, distribusi serat tipe I berkisar antara 28% hingga 41% pada berbagai otot rangka. Otot interkostal dan diafragma menunjukkan distribusi serat tipe I pada orang dewasa pada 2 dan 7 bulan masing-masing. Soleus mencapai dominasi tipe I pada usia 8 hingga 10 bulan. Proporsi dari berbagai jenis serat juga bervariasi antara individu-individu untuk otot rangka tertentu. Sebagai contoh, standar deviasi sekitar 15% diamati dalam persentase serat tipe I pada otot vastus lateralis pria muda (rata-rata sekitar 50%) menurut Malina, Bouchard, Lexell dan rekannya tidak menemukan distribusi serat tipe I pada orang dewasa pada otot vastus lateralis anak-anak dari usia 5 hingga 15 tahun. Namun, sebuah penelitian kemudian mengamati distribusi orang dewasa pada usia 16 tahun, yang mungkin menunjukkan perubahan terjadi relatif terhadap pubertas. Perubahan dalam diferensiasi jenis serat berlanjut setelah kelahiran, bahkan ke periode sebelum dewasa muda.

Perubahan sifat kontraktile otot rangka mengikuti diferensiasi jenis serat. Sifat kontraktile otot tertentu lambat postnatal, di mana antara 6 minggu dan 3 tahun. apakah perlambatan sifat kontraktile disebabkan oleh diferensiasi ini tidak pasti. Otot-otot yang menjadi otot postural mengembangkan karakteristik slow-twitch dewasa saat perkembangan motorik berlangsung. Beberapa karakteristik serat berkedut lambat adalah kecepatan kontraksi yang lambat dan waktu relaksasi yang lebih lama.

Pematangan otot terjadi pada masa kanak-kanak. Sifat kontraktile otot diukur oleh ketegangan kedutan maksimal, waktu ke puncak ketegangan, dan waktu setengah relaksasi. Waktu relaksasi otot soleus dipelajari sebagai ukuran

dinamika otot pada anak-anak usia 3 hingga 10 tahun. Peneliti menemukan bahwa otot anak pada awalnya lambat untuk rileks setelah kontraksi tetapi kecepatan relaksasi berlipat dua antara 3 dan 10 tahun. Nilai-nilai ini mencapai tingkat dewasa pada usia 10 tahun. Dalam pemeriksaan lebih lanjut terhadap fenomena ini, para peneliti menemukan bahwa kecepatan kontraksi meningkat karena kemampuan otot untuk rileks lebih cepat. Mekanisme yang mungkin untuk perubahan dinamika otot seiring bertambahnya usia mungkin adalah perubahan dalam mekanisme pengambilan kembali kalsium dari SR. Lebih lanjut, perubahan pada jenis relaksasi otot dewasa tampak lengkap pada usia 10 tahun, saat yang sama di mana perbedaan diameter serat terlihat pada pria dan wanita.

Peningkatan kekuatan pada anak-anak mengikuti kurva pertumbuhan khas untuk tinggi dan berat badan. Perubahan kekuatan dihubungkan dengan peningkatan ukuran otot dan matrasasi otot. Ada beberapa karakteristik kekuatan yang dapat menentukan seberapa kuat seseorang pada usia tertentu, termasuk area penampang otot, usia individu, jenis kelamin individu, ukuran atau tipe tubuh, dan serat. jenis dan ukuran otot yang dinilai. Massa otot diperoleh sebelum kekuatan. Otot membentuk hanya 25% dari total massa tubuh saat lahir. Namun, antara usia 5 dan 17 tahun, otot sebagai bagian dari total massa tubuh meningkat dari 41% menjadi 53% pada pria. Selama periode waktu yang sama nilai untuk wanita, 41% dan 42%, tidak berubah secara signifikan. Anak-anak lebih kuat dari bayi, dan remaja lebih kuat dari anak-anak. Dalam istilah absolut, apakah dinilai secara cross-sectional atau longitudinal, kekuatan otot meningkat sejalan dengan usia kronologis dari masa kanak-kanak hingga usia 12 atau 13 dan terutama ditentukan oleh area penampang otot. Tonson dan rekan menunjukkan bahwa kekuatan isometrik maksimal fleksor lengan bawah dari tiga kelompok usia-anak, remaja, dan orang dewasa-ditemukan sebanding dengan ukuran otot tanpa memandang usia subjek.

Tingkat rata-rata kekuatan isometrik meningkat secara bertahap antara usia 3 dan 6 tahun. Perbedaan gender terlihat jelas dimana kekuatan statis anak laki-laki terus meningkat linear dari 6 sampai 13 tahun.

Bayi hingga Remaja

Pertumbuhan otot rangka pada tahun pertama kehidupan adalah hasil dari peningkatan ukuran serat individu dan mungkin jumlah serat otot. Meskipun peningkatan terbesar dalam jumlah serat otot terjadi sebelum kelahiran, peningkatan jumlah serat otot memang terjadi selama tahun pertama perkembangan postnatal. Peningkatan jumlah serat dicapai dengan diferensiasi miofibril menjadi miofibril sekunder atau dengan pembelahan sel yang sudah ada. Setelah lahir, pertumbuhan otot terutama berasal dari peningkatan ukuran serat individu. Ukuran serat otot rata-rata saat lahir adalah sekitar 12 μm .

Diferensiasi serat otot berlanjut ke kehidupan pasca-kelahiran. Saat lahir, distribusi serat tipe I berkisar antara 28% hingga 41% pada berbagai otot rangka. Proporsi berbagai jenis serat juga sangat bervariasi di antara individu untuk otot rangka yang diberikan. Perubahan diferensiasi jenis serat terus berlanjut setelah kelahiran, bahkan ke periode sebelum dewasa muda. Perubahan sifat kontraktile otot rangka mengikuti diferensiasi jenis serat. Sifat kontraktile otot-otot tertentu lambat postnatal, antara 6 minggu dan 3 tahun.

Kematangan otot terjadi pada masa kanak-kanak. Sifat kontraktile otot diukur oleh ketegangan kedutan maksimal, waktu ke puncak ketegangan, dan waktu setengah relaksasi. Waktu relaksasi otot soleus dipelajari sebagai ukuran dinamika otot pada anak-anak usia 3 hingga 10 tahun. Peneliti menemukan bahwa otot anak pada awalnya lambat rileks setelah kontraksi tetapi kecepatan relaksasi itu berlipat dua antara 3 dan 10 tahun. Nilai-nilai ini mencapai tingkat dewasa pada usia 10 tahun. Dalam pemeriksaan lebih lanjut dari fenomena ini, para peneliti menemukan bahwa kecepatan kontraksi meningkat karena kemampuan otot untuk rileks lebih cepat. Mekanisme yang mungkin untuk perubahan dinamika otot dengan usia mungkin merupakan perubahan dalam mekanisme pengambilan kembali kalsium dari SR.

Peningkatan kekuatan pada anak-anak mengikuti kurva pertumbuhan khas untuk tinggi dan berat badan. Perubahan kekuatan dikaitkan dengan peningkatan ukuran otot dan urasi otot. Ada beberapa karakteristik kekuatan yang dapat menentukan seberapa kuat seseorang pada usia tertentu, termasuk luas penampang otot, usia individu, jenis kelamin individu, ukuran atau tipe tubuh, dan serat. jenis dan ukuran otot yang dinilai. Massa otot diperoleh sebelum kekuatan. Otot membentuk hanya 25% dari total massa tubuh saat lahir. Namun, antara usia 5

dan 17 tahun, otot sebagai bagian dari total massa tubuh meningkat dari 41% menjadi 53% pada pria. Selama periode waktu yang sama nilai-nilai untuk perempuan, 41% dan 42%, tidak berubah secara signifikan.

Anak-anak lebih kuat dari bayi, dan remaja lebih kuat dari anak-anak. Secara absolut, apakah dinilai secara cross-sectional atau longitudinal, kekuatan otot meningkat lebih awal dengan usia kronologis dari masa kanak-kanak sampai usia 12 tahun dan terutama ditentukan oleh area penampang otot. Tingkat rata-rata kekuatan isometrik meningkat secara bertahap antara usia 3 dan 6 tahun. 25 Kekuatan statis pada anak laki-laki terus meningkat secara linear dari 6 hingga 13 tahun, diikuti oleh dorongan yang berlanjut hingga akhir remaja.

Remaja dan Masa Pubertas

Masa pubertas menandai peningkatan pertumbuhan sistem muskuloskeletal. Saat kerangka tumbuh, otot-otot harus memanjang untuk membangun kembali ketegangan-panjang yang sesuai hubungan. Panjang otot istirahat mempengaruhi jumlah ketegangan yang dapat dihasilkan. Saat istirahat, sebagian besar otot rangka mendekati panjang optimal untuk produksi kekuatan. Pemisahan perlekatan otot ketika kerangka tumbuh tampaknya menjadi stimulus yang kuat untuk pertumbuhan otot. Otot menambahkan sarkomer dan fibril untuk mencapai panjang baru. Pertumbuhan otot yang lebih besar terlihat pada laki-laki daripada perempuan karena efek naik terus kadar testosteron.

Kekuatan dalam Hubungan dengan Umur dan Otot

Kekuatan terlihat meningkat secara linear antara usia 6 dan 18 tahun. Anak laki-laki memiliki dorongan kuat selama tahun-tahun remaja, yang disebabkan oleh peningkatan produksi hormon. Lonjakan ini terjadi pada saat yang sama dengan perbedaan kekuatan antara anak laki-laki dan perempuan. Meskipun testosteron adalah alasan yang paling mungkin mengapa laki-laki meningkatkan massa otot dan kekuatan lebih daripada perempuan, hormon lain berperan. Hormon pertumbuhan, insulin, dan hormon tiroid penting untuk pertumbuhan somatik dan otot. Dengan bertambahnya usia, persentase anak perempuan yang kinerjanya pada tes kekuatan sama dengan atau melebihi anak laki-laki menurun secara signifikan. Setelah usia 16 tahun, kekuatan rata-rata anak laki-laki lebih besar daripada kekuatan anak

perempuan yang sangat kuat. Meskipun pertumbuhan umumnya berhenti pada usia 18 tahun, kekuatan terus meningkat hingga usia 20-an, terutama untuk pria.

Kekuatan tampak memuncak selama dewasa muda (di usia 20-an dan awal 30-an). Dimulai pada usia 30, diperkirakan 5% massa otot hilang per dekade. Sementara ada beberapa perlambatan kontraksi selama masa dewasa menengah (40-an dan 50-an), tidak sampai dekade keenam (50-an) bahwa kekuatan otot mulai menurun dan mulai mempengaruhi fungsi. Ada penurunan 30% dalam kekuatan otot dari usia 50 hingga 70 tahun dan penurunan yang lebih cepat setelah usia 70 tahun. Penurunan ini terbukti pada kekuatan isometrik dan dinamis, tetapi secara relatif, kekuatan eksentrik lebih baik dipertahankan pada orang dewasa yang lebih tua daripada kekuatan konsentris. Kehilangan kekuatan pada pria yang lebih tua dan wanita lebih besar daripada dapat dijelaskan dengan hilangnya massa otot saja.

Anak-Anak dan Remaja

Informasi mengenai nilai kekuatan normatif tidak terlalu luas untuk anak usia dini; lebih banyak informasi tersedia untuk masa kanak-kanak tengah dan remaja. Jelas bahwa kekuatan otot meningkat secara bertahap selama masa bayi dan anak usia dini. Pada anak perempuan, ada peningkatan kekuatan hingga sekitar 15 tahun. Anak laki-laki mengalami masa pertumbuhan lebih lama 2 tahun, yang bersama dengan akselerasi yang lebih tajam dari rekening pertumbuhan untuk perbedaan jenis kelamin pertumbuhan selama masa pubertas. Kekuatan dan ukuran tubuh serta massa otot saling berkaitan. Karena anak laki-laki biasanya lebih besar daripada anak perempuan dan memiliki massa otot lebih banyak, anak laki-laki lebih kuat. Ketika kekuatan diukur per satuan ukuran tubuh, anak laki-laki lebih kuat di tubuh bagian atas dan tubuh daripada anak perempuan. Kekuatan yang diukur dengan kemampuan untuk melakukan lompatan vertikal atau lompat jauh menunjukkan peningkatan pada anak laki-laki dan perempuan dari usia 6 hingga 12 atau 13 tahun. Setelah 13, anak laki-laki terus membaik sementara skor anak perempuan turun. Tren terkait usia ini terlihat dalam pengembangan kekuatan, daya aerobik, dan kinerja motor.

Anak-anak biasanya berpartisipasi dalam ledakan singkat aktivitas yang sangat intens. Selama pertarungan singkat yang intens, anak-anak memiliki kemampuan yang lebih rendah untuk menghasilkan energi mekanik dari sumber energi kimia. Faktor genetik berkontribusi pada pengembangan dan kinerja kekuatan

otot. Kekuatan dan kekuatan statis pada anak-anak mungkin lebih ditentukan oleh faktor genetik daripada ketahanan otot. Selama pertumbuhan, pengaruh genetik pada pengembangan kekuatan kuat. Massa dan tinggi tubuh berhubungan langsung dengan kekuatan. Gen tampaknya memainkan peran lebih besar dalam pengembangan kekuatan pada pria daripada pada wanita. Pada masa pubertas, interaksi antara tinggi, massa tubuh, dan kematangan biologis menjelaskan sebagian besar perbedaan kekuatan yang terlihat seiring bertambahnya usia.

Masa dewasa dan Penuaan

Kekuatan pada pria adalah yang terbesar antara usia 30 dan 35 tahun. Secara umum, kekuatan menurun antara 30% hingga 50% dari usia 30 hingga 80. Secara fisiologis, kehilangan 30% dari fungsi cadangan kapasitas sistem tubuh (seperti sistem otot) dan penurunan 70% mengakibatkan kegagalan sistem. Hilangnya massa otot dan kekuatan dengan usia secara signifikan mempengaruhi fungsi. Dimulai pada usia 30, diperkirakan 5% massa otot hilang, yang disejajarkan dengan hilangnya kekuatan. Para peneliti sepakat bahwa tingkat penurunan kekuatan otot dengan usia muncul lebih besar di tubuh bagian bawah daripada tubuh bagian atas.