

TEMU 1
FISIOLOGI LATIHAN BAGI FISIOTERAPI
Disusun oleh Kesit Ivanali, S.Ft., M.Biomed

A. PENGANTAR

Manusia diciptakan oleh yang Tuhan untuk terus beraktifitas dan bergerak terutamaa beribadah. Bagi muslim melakukan ibadah shalat merupakan salah satu aktifitas fisik yang menggunakan kekuatan otot, stabilitas, fleksibilitas, dan mobilitas sendi. Konsumen kesehatan (pasien/klien) sering dirujuk dan berkunjung ke layanan fisioterapi karena adanya impairment yang berhubungan langsung dengan gangguan gerak baik disebabkan oleh cedera, penyakit atau gangguan kesehatan lainnya yang mempengaruhi aktifitas fisik pasien.

Kemajuan fisioterapi kini kian berkembang dengan majunya keilmuan dibidang latihan guna mengembalikan, memulihkan, dan meningkatkan fungsi gerak tubuh. Untuk dapat mencapai ke empat capaian kerja fisioterapi, tidak lepas dari aktifitas fisik berupa latihan atau yang lebih dikenal sebagai terapi latihan. Terapi latihan mengacu pada kerja fungsi tubuh mulai dari tingkat sel, jaringan, organ, dan fungsi gerak. Dalam praktiknya, seorang fisioterapis dapat membantu memulihkan pasien hanya dengan menargetkan capaian adaptasi yang ingin dicapainya. Adaptasi ini adalah respon fisiologi sel dan jaringan terhadap menerima rangsangan eksternal berupa latihan untuk dapat beregenerasi dan mencapai ambang homeostasis normal.

Definisi dari terapi latihan adalah program latihan yang disusun secara sistematis guna memperbaiki performa fungsi gerak, postur, ataupun aktifitas fisik yang bertujuan mencegah impairmen, meningkatkan/memulihkan fungsi fisik, mencegah dan mengurangi factor resiko sakit, serta mengoptimalisasi status kesehatan dan kebugaran (Kisner and Colby, 2007). Ada enam komponen yang berkaitan dengan fungsi gerak tubuh, yaitu:

1. Performa Otot
2. Daya tahan kardiopulmonal
3. Mobilitas/fleksibilitas
4. Kontrol/koordinasi neuromuscular
5. Stabilisasi
6. Titik tumpu (equilibrium) keseimbangan/postural

Performa Otot. Kapasitas otot untu memproduksi tegangan dan kerja fisik. Terdiri dari kekuatan, daya ledak (power), dan daya tahan otot.

Daya tahan kardiopulmonal. Kemampuan untuk mempertahankan performa tubuh pada intensitas sedang, repetitive, dan keseluruhan gerak tubuh seperti berjalan, jogging, bersepeda, renang, dll dalam jangka waktu yang lama (Kisner and Colby, 2007).

Fleksibilitas. Kemampuan untuk bergerak tanpa adanya tahanan.

Mobilitas. Kemampuan struktur atau segmen dari tubuh untuk bergerak dengan luas gerak sendi penuh pada aktifitas fungsional. mobilitas pasif senagt bergantung dari extensibilitas jaringan kontraktile dan bukan kontraktile.

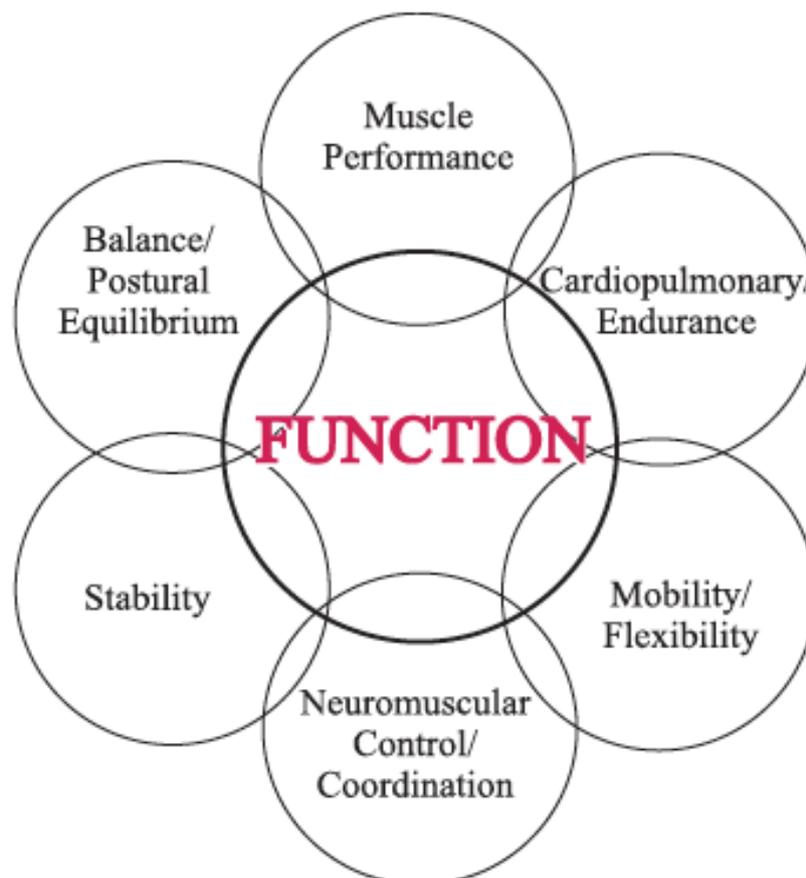
Keseimbangan. Kemampuan tubuh melawan gravitasi untuk mempertahankan atau menggerakkan tubuh pada titik beban pada bidang tumpu yang tepat tanpa jatuh dengan adanya interaksi system sensori dan motoric (Kisner and Colby, 2007).

Koordinasi. Kerja otot dalam waktu yang tepat dan sequens dikombinasikan dengan inisiasi, arahan, dan tingkatan gerak. Koordinasi merupakan dasar kelancaran, akurasi, efisiensi dan otomatisasi gerak.

Kontrol neuromuscular. Interaksi system sensoris dan motoric dalam kerja sinergis, agonis, dan antagonis sebagai stabilisasi dalam aktifitas propioseptfi dan kinestetika untuk membantu koordinasi gerak.

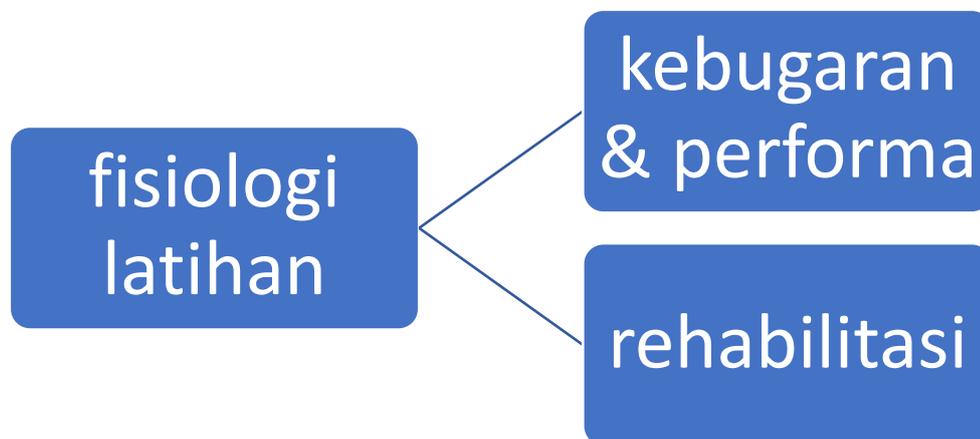
Kontrol postural. mempertahankan posisi tubuh pada titik keseimbangan statis dan dinamis.

Stabilisasi. Kemampuan system neuromuscular bekerja sinergis untuk mempertahankan segmen tubuh sisi proksimal dan distal pada posisi yang tidak stabil.



Gambar 1. Keterkaitan komponen fungsi fisik (Kisner and Colby, 2007)

Fisiologi adalah dasar ilmu yang melihat kerja mulai dari struktur hingga ke fungsi tubuh. Fisiologi latihan merupakan cabang ilmu fisiologi untuk melihat dan mengukur respon tubuh pada tingkat aktifitas fisik. Pada dasarnya ilmu ini digunakan pada dua area, kebugaran dan performa serta rehabilitasi. Dengan mempelajari ilmu ini akan memacu kita mempelajari keterkaitan fungsi spesifik antar system fisiologi terhadap rangsangan atau beban akut latihan pada respon/adaptasi kronik latihan fisik.



Bagan 1. Penggunaan fisiologi latihan

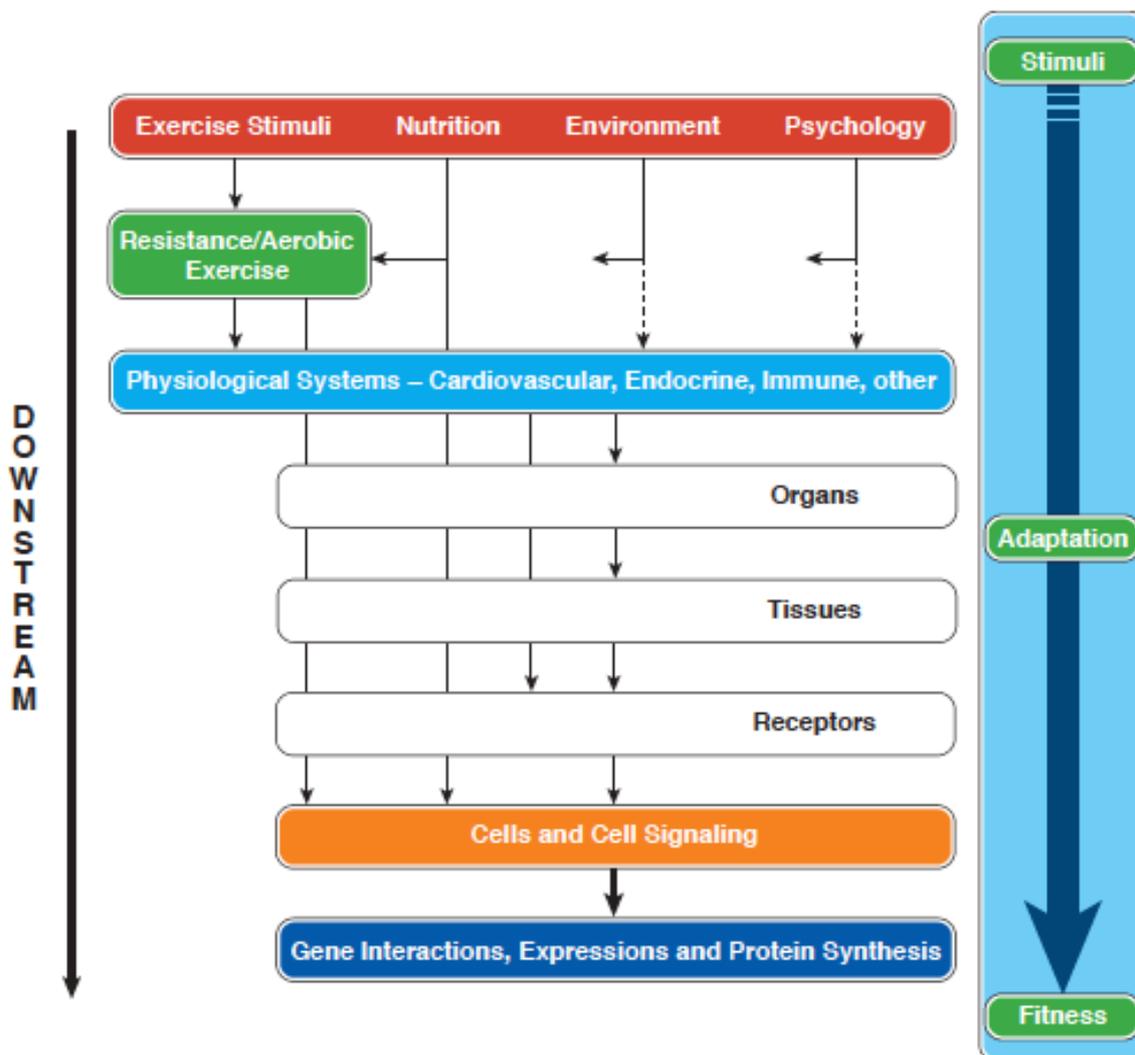
B. Sejarah Singkat Fisiologi Latihan

Respon tubuh terhadap latihan sangat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan (panas, dingin, dan ketinggian) serta latihan akan memberikan pengaruh pada kesehatan, kondisi penyakit dan kebugaran yang telah dipelajari sejak abad ke 19. Dikembangkan oleh Hipocrates (father of preventive medicine) mengatakan “jika kita memberikan latihan pada individu, tidak terlalu sedikit dan banyak, kita akan mendapatkan tingkat aman dalam kesehatan”. Lima ratus tahun berikutnya seorang dokter bernama Claudius Galenus menjelaskan bahwa aspek kesehatan sangat bergantung dari kebersihan, anatomi & fisiologi tubuh, gizi, pertumbuhan dan latihan.

Sejak saat itu perkembangan latihan dikembangkan untuk performa dan kesehatan. Performa fisik mulai dikembangkan sejak kompetisi olimpiade di Yunani.

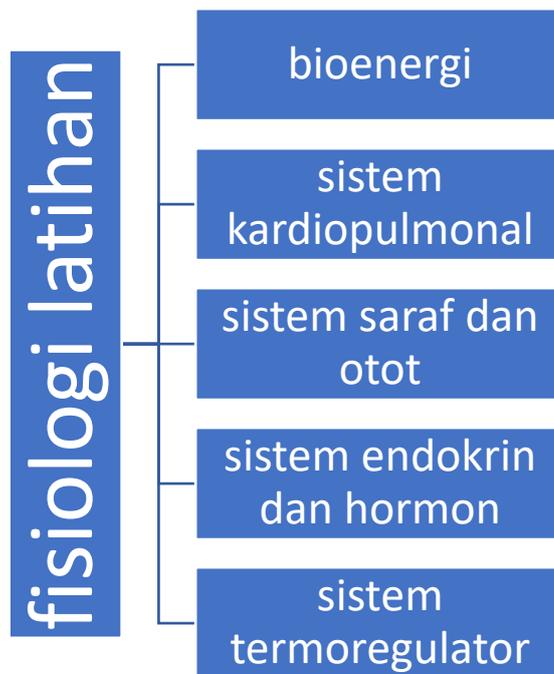
C. DASAR FISIOLOGI LATIHAN

Aspek adaptasi dari latihan akan berdampak langsung pada organ, jaringan, dan reseptor jika diberikan dengan dosis yang tepat. Hal tersebut tidak hanya dilihat dari aspek rangsangan latihan namun juga aspek gizi, lingkungan dan psikologi yang akan mempengaruhi sistem fisiologi tubuh. Sehingga memberikan dampak pada komunikasi tingkat sel dan terjadinya sintesa & ekspresi protein, dan interaksi gen secara biomolekuler.



Gambar 2. Proses umum adaptasi kebugaran dalam tubuh

Untuk mencapai adaptasi yang optimal, maka kita perlu mengetahui dasar fisiologi latihan mulai dari aspek bioenergy, system kardiopulmonal, system saraf dan otot, endokrin dan hormone, serta system termoregulator tubuh. Dengan mempelajari dasar fisiologi latihan ini akan menjadi standar acuan dalam memberikan program latihan baik pada kebugaran dan rehabilitative. Sehingga kita kita memberikan latihan tidak hanya pada aspek ototnya saja, melainkan juga melihat respon tubuh secara menyeluruh. Sebagai contoh latihan leg extention hanya akan memberikan pengaruh pada otot quadrisep saja melainkan perlu memperhatikan system kardiopulmonal, saraf, hormone yang akan bekerja baik sebelum, sesaat dan setelah latihan. Sehingga ketika kita menyusun program latihan juga memperhatikan dari kemampuan seluruh system sesuai dengan kondisi umum pasien/klien kita nantinya.



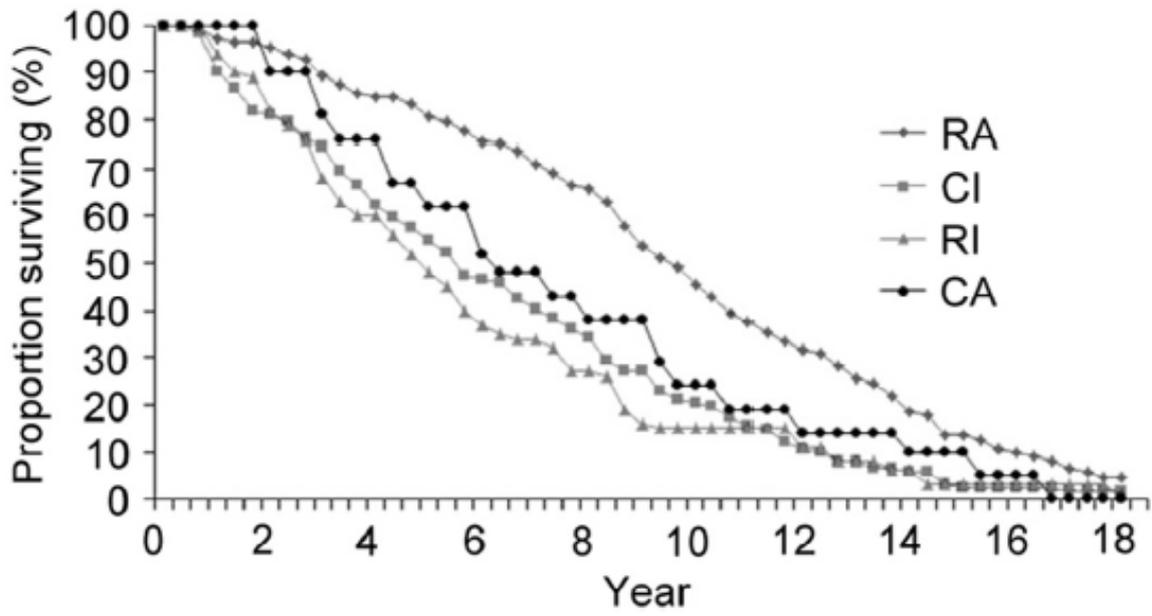
Bagan 2. Dasar fisiologi latihan pada system tubuh

D. Kebugaran Fisik dan Kesehatan

Aktifitas fisik didefinisikan sebagai gerak tubuh yang diproduksi oleh otot skelet yang menghabiskan pengeluaran energi. Pengeluaran energi diukur dengan melihat produksi panas dalam tubuh dalam satuan kilokalori (kalori) yang berarti jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu setiap satu kilogram air 1°C ($1 \text{ kcal} = 4.184 \text{ kJ}$). Berkaitan dengan kalori, individu yang sedentary atau tidak pernah melakukan latihan fisik dengan pengeluaran energi kurang dari 2000 Kcal/minggu memiliki resiko kematian lebih cepat dibandingkan individu aktif (Porcari, John. Bryant, Cedric. Comana, 2105).

Äijö *et al.*, (2016) melakukan studi selama 18 tahun yang berkaitan dengan aktifitas fisik, kebugaran terhadap mortalitas pada orang tua. Dijelaskan bahwa orang tua (80-85 tahun) yang dulunya aktif bekerja dan beraktifitas fisik menjadi mengurangi aktifitasnya dan orang tua yang sedentary memiliki resiko mortalitas tinggi dilihat dari status kebugaran mereka. Sedangkan orang tua yang memiliki kebugaran dan aktifitas fisik yang baik mampu bertahan hidup lebih lama. Mereka yang merubah gaya hidup aktifnya menjadi sedentary ada kemungkinan factor morbiditaslah penyebab utamanya. Sedangkan mereka yang aktif kemungkinan factor genetic dan latihan fisiklah yang membuat mereka bertahan lebih lama (Gambar 3).

Lalu seberapa besar aktifitas fisik yang diperlukan untuk dapat mencegah resiko mortalitas?. Oguma *et al.*, (2002) dalam studi kajian bukti mortalitas pada wanita menjelaskan bahwa untuk dapat mengurangi rasio mortalitas diperlukan pengeluaran energi lebih besar dari 2300 kcal/minggu mencapai 9660 kJ/minggu. Kedua bukti yang telah dijelaskan menyatakan bahwa individu dengan aktifitas fisik dengan intensitas sedang akan menurunkan resiko mortalitas.



Gambar 3. Proporsi rerata ketahanan hidup dari 4 kelompok berdasarkan nilai dasar, CA = change to active, CI = change to inactive, RA = remained active, RI = remained inactive (Äijö et al., 2016).

Adapun klasifikasi Intensitas latihan untuk meningkatkan kapasitas fisik , sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi intensitas latihan

INTENSITY	RELATIVE INTENSITY		ABSOLUTE INTENSITY RANGES (METS) ACROSS FITNESS LEVELS			
	$\dot{V}O_2R$ (%) HRR (%)	MAXIMAL HR (%)	12 MET $\dot{V}O_{2MAX}$	10 MET $\dot{V}O_{2MAX}$	8 MET $\dot{V}O_{2MAX}$	6 MET $\dot{V}O_{2MAX}$
Very light	<20	<50	<3.2	<2.8	<2.4	<2.0
Light	20–39	50–63	3.2–5.3	2.8–4.5	2.4–3.7	2.0–3.0
Moderate	40–59	64–76	5.4–7.5	4.6–6.3	3.8–5.1	3.1–4.0
Hard (vigorous)	60–84	77–93	7.6–10.2	6.4–8.6	5.2–6.9	4.1–5.2
Very hard	≥85	≥94	≥10.3	≥8.7	≥7.0	≥5.3
Maximal	100	100	12	10	8	6

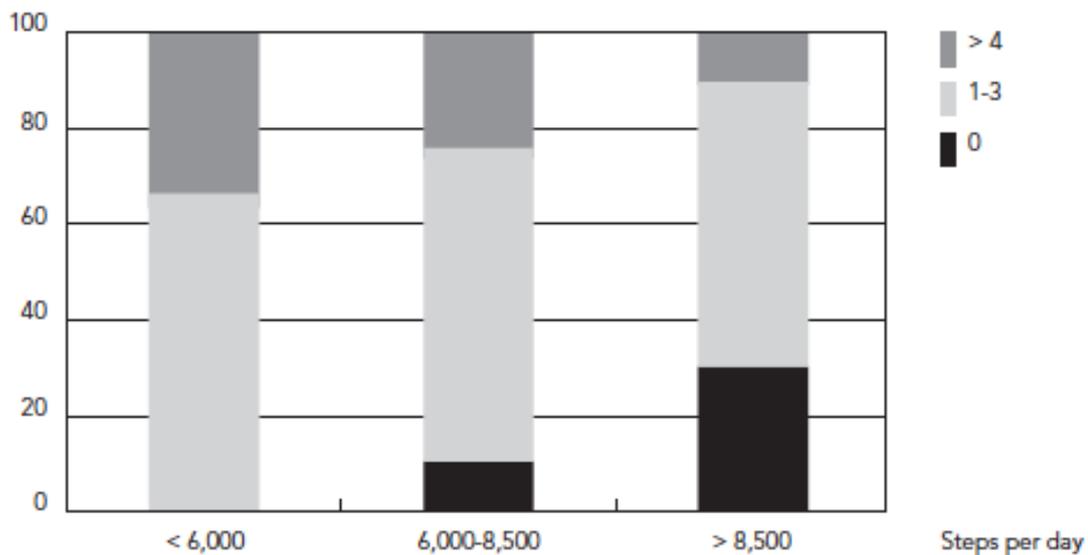
HR, heart rate; HRR, heart rate reserve; MET, metabolic equivalent unit (1 MET = 3.5 mL/kg/min); $\dot{V}O_{2max}$, maximal oxygen consumption; $\dot{V}O_2R$, oxygen uptake reserve.

Adapted from U.S. Department of Health and Human Services. *Physical Activity and Health: A Report of the Surgeon General*. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention; 1996; American College of Sports Medicine. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:975–991; and Howley ET. Type of activity: Resistance, aerobic and leisure versus occupational physical therapy. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:S364–S369.

E. Implikasi aktifitas fisik terhadap penyakit kronis

Berkaitan dengan morbiditas individu, aktifitas fisik memiliki peran penting dalam membantu mereka yang sedang mengalami penyakit kronis seperti penyakit pembuluh jantung, obesitas, kanker, diabetes, dan metabolic syndrome. Speck *et al.*, (2010) melakukan studi systemtic review dan meta-analysis pada penderita kanker (payudara, colon, paru, ovarium, leukemia, prostat, sarcoma, testis, dll) dengan mengontrol aktivitas fisik mereka dengan memberikan latihan aerobik dan non aerobik dengan intensitas mulai dari ringan ke sedang , frekuensi latihan kurang dari 3 kali per minggu sampai lebih dari 5 kali perminggu, dan durasi latihan mulai dari 20 menit sampai lebih dari 45 menit. hasilnya secara umum memberikan manfaat positif dan memberikan implikasi paska latihan berupa perbaikan kebugaran aerobik, kekuatan otot, fleksibilitas , masa tubuh, quality of life, tingkat kelelahan, hormone IGF-I, IFG-BP-III, nyeri, imunitas, psikologis, dan simtom. Dengan syarat jumlah platelet 20.000/microliter dan 1.500/microliter leukosit sangat aman diberikan latihan aerobik jangka waktu lama. Berkaitan dengan lymphedema, latihan kekuatan tidak memberikan pengaruh negative dan bermanfaat untuk mengurangi resiko perluasan lymphedema.

Pada penyakit kronis tidak lepas dari konsumsi obat-obatan untuk mempertahankan kondisi mereka. Ada satu studi dari Silva *et al.*, (2012) menjelaskan tingginya volume aktifitas fisik berkolerasi positif pada penurunan konsumsi obat pada wanita aktif. Dalam studinya membagi tiga kelompok aktifitas fisik kelompok 1 diberikan latihan <6000 langkah/hari, kelompok 2 6000-8000 langkah/hari dan kelompok 3 >8000 langkah/hari. Kelompok 3 menunjukkan angka penurunan konsumsi obat yang signifikan. Pada kasus kardiovaskular aktifitas fisik lama akan menurunkan hipertensi yang menjadi respon adaptasi kronis tubuh terhadap latihan dengan adanya perubahan aktifitas simpatetik dan tahan vascular sistemik. Hipotesa lainnya bahwa mungkin ada penurunan aktivitas plasma renin, konsentrasi katekolamin dan meningkatnya sesitivitas insulin. Sehingga aktifitas fisik akan memberikan efek vasodilatasi pada endothelium vaskularisasi.



Gambar 4. Hubungan aktifitas fisik terhadap konsumsi obat pada wanita (Silva et al., 2012)

Kedua data diatas menjelaskan bahwa aktifitas fisik dapat membantu penderita penyakit kronis hingga harapan kualitas hidupnya membaik dan memperbaiki imunitas sehingga tidak perlu mengkonsumsi obat farmasi tambahan. Dapat diartikan aktifitas fisik akan memperbaiki fisiologi tubuh menjadi efek terapeutik. Maka akan berdampak pada angka kunjungan pasien ke rumah sakit. Aktifitas fisik ini menjadi upaya preventive yang murah jika dilakukan dengan disiplin. Davis et al., (2014) melakukan pendataan kurangnya aktifitas fisik akan meningkatkan beban biaya kesehatan 1%-3% pertahunnya. Kenaikan biaya kesehatan tersebut sangatlah tinggi bagi individu yang tidak memiliki asuransi ataupun yang kurang mampu (ekonomi rendah). Sehingga perlu upaya mempromosikan kembali akan aktifitas fisik pada masyarakat sebagai upaya pencegahan dan kuratif agar dapat menekan dan menghemat biaya kesehatan setiap individu.

Dapat disimpulkan bahwa manfaat latihan teratur bagi penyakit kronis adalah akan meningkatkan angka harapan hidup, mencegah osteoporosis dan mencegah beban tubuh berlebih (overweight) yang dapat menyebabkan penyakit komplikasi. Berdasarkan pengalaman yang telah saya dapati didalam satu komunitas olahraga di Jakarta, ada satu orang wanita berusia kurang lebih 40 tahun telah mengidap kanker otak selama 3 tahun dengan kondisi menurun selama 5 tahun. Setelah melakukan kemoterapi beliau mencari komunitas olahrag yang dapat membantunya puliha baik secara fisik maupun psikologis. Partisipasinya sangat diapresiasi oleh rekan-rekan komunitas atas capaian pemulihan fisiknya saat ini menjadi lebih bugar dan kondisi psikisnya lebih sehat yang membuat beliau terus bersemangat dalam menjalani hidupnya atas apa yang telah beliau alami sebelumnya.

F. Implikasi pada rehabilitasi musculoskeletal

Dalam aplikasi rehabilitasi atau pemulihan paska cedera, sakit, dan traumatic pada jaringan otot, tulang dan saraf latihan paling besar kontribusinya dalam pemulihan. Ada perubahan paradigma yang harus dipahami berkaitan dengan kondisi akut dan kronis. Dalam aplikasi dilapangan masih banyak intervensi fisioterapi yang pasif hanya menggunakan modalitas elektroterapi tanpa menambahkan latihan yang tersistematis. Sehingga kondisi musculoskeletal kronis tidak kunjung pulih.

Saya ambil contoh dalam cedera musculoskeletal. Cedera akut pertama kali harus menggunakan konsep Proteksi, Rest, Ice, Compression, & Elevation (PRICE) bisa dilanjutkan dengan modalitas elektroterapi. Namun seringkali PRICE ini dilanjutkan hingga masa kronis. Yang berdampak pada atrofi, terhambatnya rangsangan motoric, penurunan kerja sensoris proprioseptif, meningkatnya ambang rasa nyeri.

Berikut ini dampak proteksi/imobilisasi yang terlalu lama:

otot	Jaringan ikat	kartilago
Menurunkan ukuran serabut otot Merubah panjang otot istirahat Menurunkan jumlah mitokondria Menurunkan massa otot Meningkatnya kontraksi otot yang berlebih Meningkatnya laktat Menurunnya sintesa protein	Menurunkan matrix ekstrasel Menurunnya kolagen Degradasi kolagen Abnormal crosslink	Kondrosit tidak mampu mensintesa proteoglycan Kartilago melunak Ketebalan menurun Nekrosis akibat tekanan berlebih

Nedergaard *et al.*, (2012) menjelaskan dalam studinya imobilisasi selama dua atau tiga minggu akan menurunkan massa otot 5%-10% dan kekuatan otot 10%-20%. Sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk pemulihannya. Observasi dalam studinya dengan terjadi penurunan hormone pertumbuhan growth factor 1 (IGF-1) dan ekspresi mRNA. Crossland *et al.*, (2018) juga menjelaskan bahwa kehilangan masa otot dan sensitivitas insulin merupakan sifat fenotip umum dari imobilisasi dan peningkatan inflamasi. Selain itu juga tidak terjadinya sintesa protein (protein kinase B) didalam mitokondria otot pada tahap ini tidak terjadi transkripsi mRNA. Imobilisasi selama 3-5 hari akan menurunkan kadar gula darah dalam sel otot yang berdampak pada penurunan sintesa glikogen otot sehingga tahanan insulin meningkat yang menyebabkan inflamasi jangka panjang.

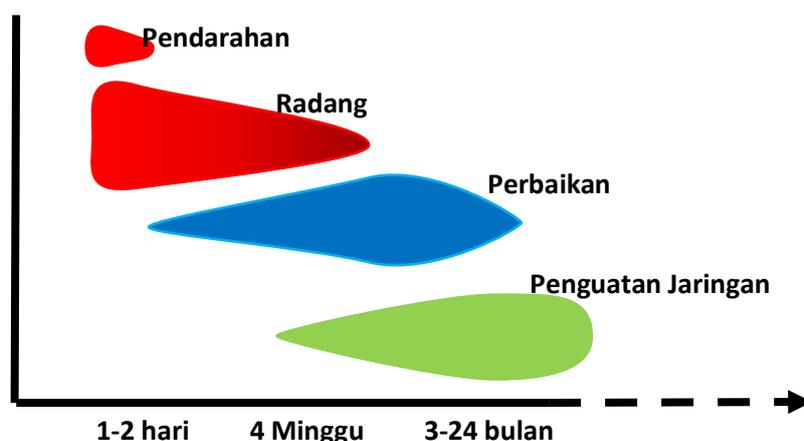
Kedua bukti diatas dapat diartikan bahwa ada perubahan fungsi sel untuk tidak dapat beregenerasi sehingga siklus radang dan atrofi terus berputar. Hal ini akan berdampak pada ketidak seimbangan kerja motoric dan sensorik, dimana sensorik nyeri (serabut tipe C) lebih aktif dibandingkan saraf motoric dan rasa nyeri menjadi permasalahan yang sering ditangani, bukan pada perbaikan ototnya.

Konsep PRICE harus segera digeser setelah masa akut selesai menjadi Proteksi, Optimal Loading, Ice, & elevasi (POLICE) . pada POLICE ini yang di utamakan adalah optimal loading yang menggantikan rest dengan imobilisasi dalam jangka waktu lama. Optimal loading ini merupakan pembebanan pada struktur untuk dapat memberikan rangsangan adaptasi fisiologis pada jaringan dan kondisi patologi. Secara structural pembebanan dalam latihan ini ditujukan unutm meningkatkan kekuatan serabut jaringan lunak, kolagen dan reorganisasi saraf.

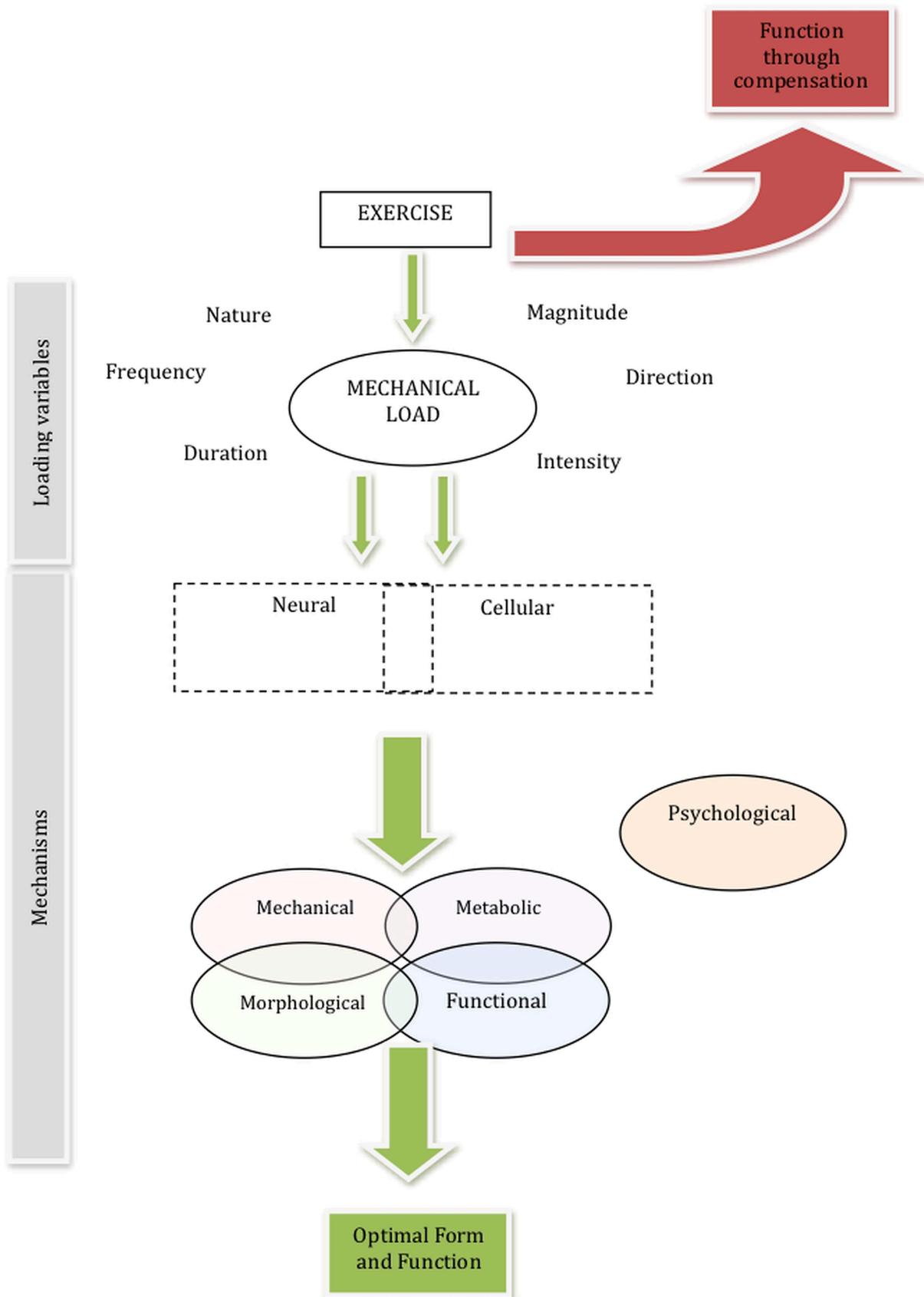
Optimal loading ini akan mengirimkan rangsangan kepada temporal untuk menjadikan respon fisiologi menjadi respon terapeutik, memproduksi rangsangan motoric, dan meningkatkan densitas tulang. Dalam terapi latihan ada prinsip yang disebut dengan “overload”, prinsip ini ditujukan agar kondisi jaringan yang rusak dapat terurai normal kembali. Adaptasi pada jaringan ini sangat bergantung pada struktur mekanik yang mampu menerima rangsangan beban dan informasi sensoris agar dapat proses dalam system saraf pusat.

Ada tiga cara dalam memberikan pembebanan atau loading. Pertama, variasi dari besaran beban, arah gerakan dan tingkatan pembebanan yang berfungsi mengatur tegangan jaringan. Kedua, mechanitransductive merupakan stimulasi yang lebih luas dan mencegah fenomena rangsangan dari suhu, tekanan, dan cahaya. Ketiga, meningkatkan tegangan jaringan agar menguatkan struktur biologi. Dari ketiga variasi tersebut akan memberikan adaptasi saraf dan sel untuk dapat bergerak mekanik, mengatktifasi metabolisme, perubahan struktur morfologi, dan berfungsi normal (Glasgow, Phillips and Bleakley, 2015) (gambar 7).

Respon optimal loading terhadap jaringan memberikan pengaruh besar dalam memnbantu pemulihan (promote tissue repair). Adapun proses pemulihan dimulai dari fase akut selama 1 sampai 2 hari terjadi pendarahan dan radang pada jaringan. Dilanjutkan pada fase perbaikan (poliferasi) dimana jaringan akan mengalami perbaikan stuktural, kekuatan jaringan, dan perbaikan fungsi selama 4 minggu, dan diakhiri dengan proses penguatan jaringan (remodeling) guna memberikan perbaikan normal pada jaringan untuk dapat menerima tegangan atau force yang lebih besar (gambar 6).



Gambar 5. Proses perbaikan jaringan



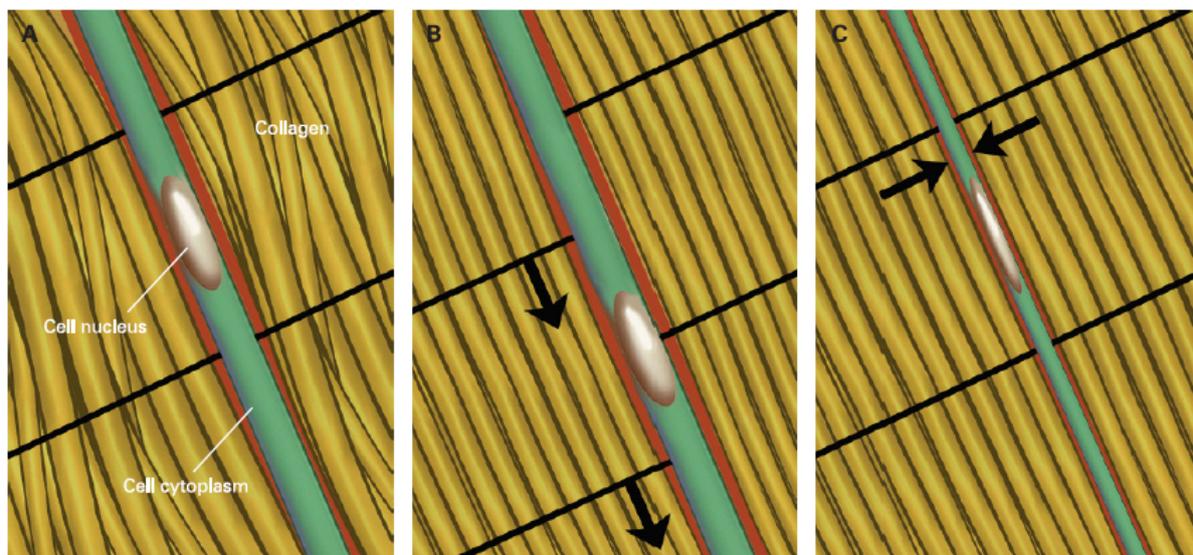
Gambar 6. Pengaruh mechanical loading (Glasgow, Phillips and Bleakley, 2015)

Khan and Scott,(2009) menjelaskan dalam studinya bahwa fisioterapis harus memberikan latihan dalam meningkatkan perbaikan jaringan. Perbaikan jaringan ini terjadi karena mechanicaltransduction yaitu proses kerja mekanik tubuh terhadap respon sel guna terjadi perbaikan structural.

Ada tiga proses dalam mechanotransduction:

1. Mechanocoupling = memberikan rangsangan mekanik.
2. Cell-cell communication = komunikasi antar jaringan terhadap respon mekanik.
3. Effector response = kerja sel dalam memproduksi jaringan baru untuk memperkuat struktur.

Mechanocoupling lebih mengarah pada memberikan tegangan atau pembebanan kontraksi pada target jaringan. Pada gambar 8 memberikan respon sel pada tendon ketika terjadi kompresi yang bertujuan untuk mengaktifkan kerja sel.

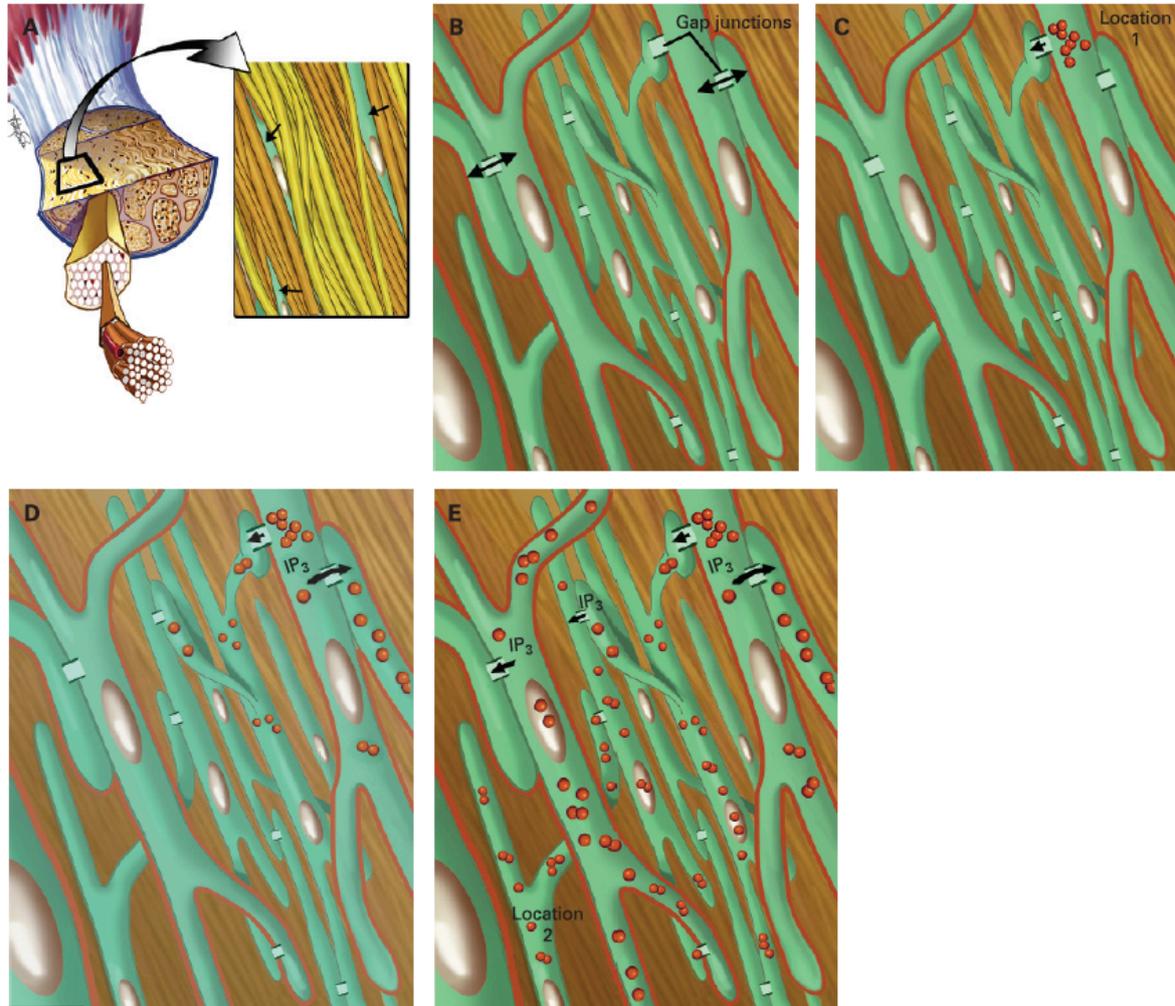


Tendon cell undergoing (A,B) shear and (C) compression during a tendon-loading cycle.

Gambar 7. Mechanocoupling

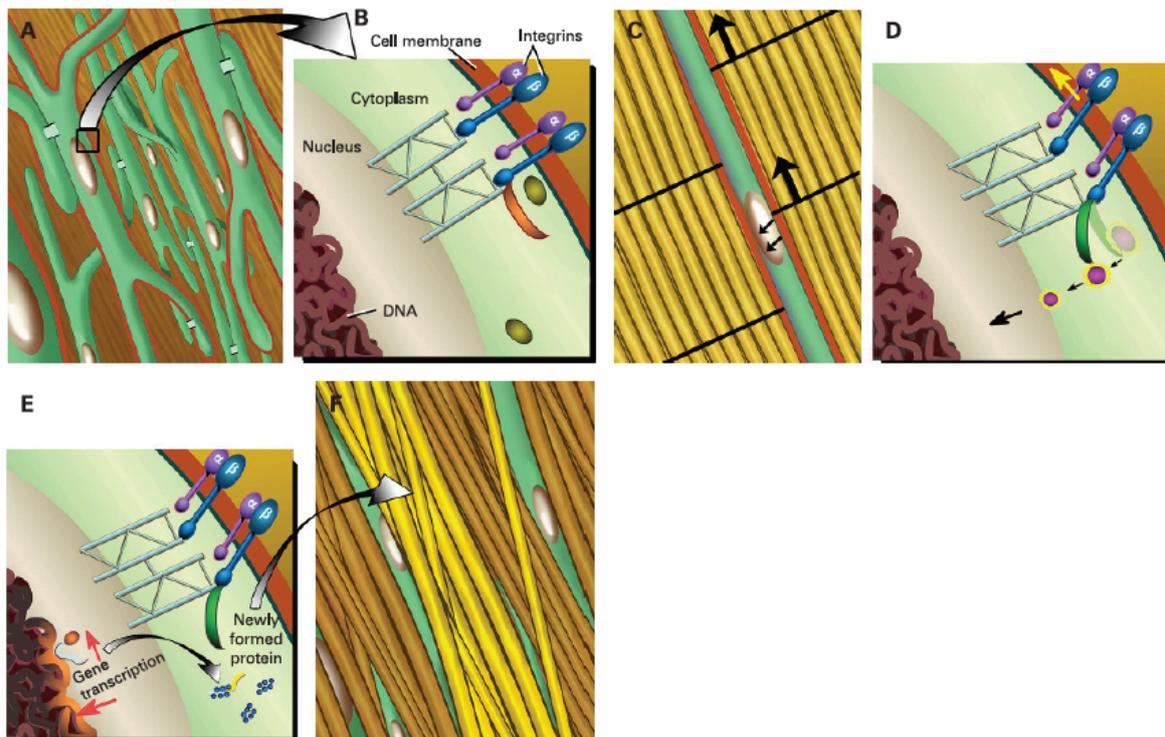
Cell-cell communication. Setelah tahap kompresi pada sel, sel akan mengirimkan sinyal kepada sel lain untuk mengaktifkan kalsium dan inositol triphospat (IP3) untuk berkomunikasi pada tingkat ekstrasel (gambar 9).

Effector response. Respon ini terjadi setelah adanya sinyal pada ekstrasel dengan membawa protein kedalam intrasel. Didalam intrasel terjadi komunikasi dalam nucleus sehingga mengaktifkan biokimia nucleus sehingga terjadi transkripsi mRNA. Transkripsi ini digunakan dalam tahap remodeling agar jaringan menjadi lebih kuat dan berfungsi normal (gambar 10).



Tendon tissue provides an example of cell-cell communication. (A) The intact tendon consists of extracellular matrix (including collagen) and specialised tendon cells (arrowheads). (B) Tendon with collagen removed to reveal the interconnecting cell network. Cells are physically in contact throughout the tendon, facilitating cell-cell communication. Gap junctions are the specialised regions where cells connect and communicate small charged particles. They can be identified by their specific protein connexin 43. (C-E) Time course of cell-cell communication from (C) beginning, through (D) the midpoint to (E) the end. The signalling proteins for this step include calcium (red spheres) and inositol triphosphate (IP₃).

Gambar 8. Komunikasi antar sel



Mechanical loading stimulates protein synthesis at the cellular level. (A) A larger scale image of the tendon cell network for orientation. We focus on one very small region. (B) Zooming in on this region reveals the cell membrane, the integrin proteins that bridge the intracellular and extracellular regions, and the cytoskeleton, which functions to maintain cell integrity and distribute mechanical load. The cell nucleus and the DNA are also illustrated. (C) With movement (shearing is illustrated), the integrin proteins activate at least two distinct pathways. (D) One involves the cytoskeleton that is in direct physical communication with the nucleus (ie, tugging the cytoskeleton sends a physical signal to the cell nucleus). Another pathway is triggered by integrins activating a series of biochemical signalling agents which are illustrated schematically. After a series of intermediate steps those biochemical signals also influence gene expression in the nucleus. (E) Once the cell nucleus receives the appropriate signals, normal cellular processes are engaged. mRNA is transcribed and shuttled to the endoplasmic reticulum in the cell cytoplasm, where it is translated into protein. The protein is secreted and incorporated into extracellular matrix. (F) In sum, the mechanical stimulus on the outside of the cell promotes intracellular processes leading to matrix remodelling.

Gambar 9 Effector Response

G. Kesimpulan

Setelah kita mempelajari gambaran umum tentang fisiologi latihan bagi fisioterapi, diharapkan dengan fisiologi latihan menjadi dasar keilmuan untuk memberikan latihan guna meningkatkan kebugaran tubuh dan adaptasi terapeutik bagi orang sakit. Memberikan gerakan pada otot akan meningkatkan kerja sel guna memberikan respon pemulihan jaringan.

Referensi

- Äijö, M. *et al.* (2016) 'Physical activity, fitness, and all-cause mortality: An 18-year follow-up among old people', *Journal of Sport and Health Science*. doi: 10.1016/j.jshs.2015.09.008.
- Crossland, H. *et al.* (2018) 'The impact of immobilisation and inflammation on the regulation of muscle mass and insulin resistance: different routes to similar end-points', *The Journal of Physiology*, 0(0). doi: 10.1113/JP275444.
- Davis, J. C. *et al.* (2014) '2014 Consensus Statement from the first Economics of Physical Inactivity Consensus (EPIC) Conference (Vancouver)', *British Journal of Sports Medicine*, 48(12), p. 947 LP-951. Available at: <http://bjsm.bmj.com/content/48/12/947.abstract>.
- Glasgow, P., Phillips, N. and Bleakley, C. (2015) 'Optimal loading: key variables and mechanisms', *British Journal of Sports Medicine*, 49(5), p. 278 LP-279. Available at: <http://bjsm.bmj.com/content/49/5/278.abstract>.
- Khan, K. M. and Scott, A. (2009) 'Mechanotherapy: how physical therapists' prescription of exercise promotes tissue repair', *British Journal of Sports Medicine*, 43(4), p. 247 LP-252. Available at: <http://bjsm.bmj.com/content/43/4/247.abstract>.
- Kisner, C. and Colby, L. A. (2007) *Therapeutic Exercise- Foundations nd Techniques, Foundations and Techniques*. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Nedergaard, A. *et al.* (2012) 'Effects of 2{thinspace}weeks lower limb immobilization and two separate rehabilitation regimens on gastrocnemius muscle protein turnover signaling and normalization genes', *BMC Research Notes*, 5(1), p. 166. doi: 10.1186/1756-0500-5-166.
- Oguma, Y. *et al.* (2002) 'Physical activity and all cause mortality in women: a review of the evidence', *British Journal of Sports Medicine*, 36(3), p. 162 LP-172. Available at: <http://bjsm.bmj.com/content/36/3/162.abstract>.
- Porcari, John. Bryant, Cedric. Comana, F. (2105) *Exercise Physiology*. Philadelphia: F. A. Davis Company.
- Silva, L. J. da *et al.* (2012) 'Association between levels of physical activity and use of medication among older women', *Cadernos de Saã\textordmasculinede PÃ\textordmasculineblica*. scielo, 28, pp. 463–471. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2012000300006&nrm=iso.
- Speck, R. M. *et al.* (2010) 'An update of controlled physical activity trials in cancer survivors: A systematic review and meta-analysis', *Journal of Cancer Survivorship*. doi: 10.1007/s11764-009-0110-5.