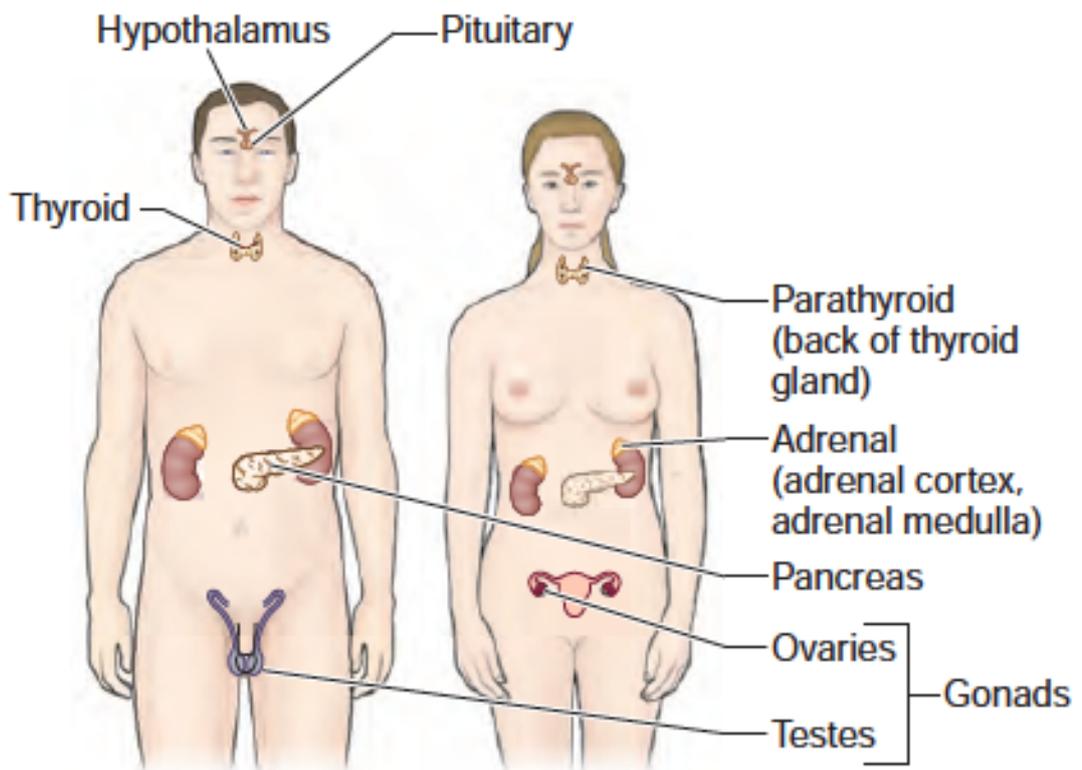


## Temu 6 Fisiologi latihan Sistem Endokrin & Hormon

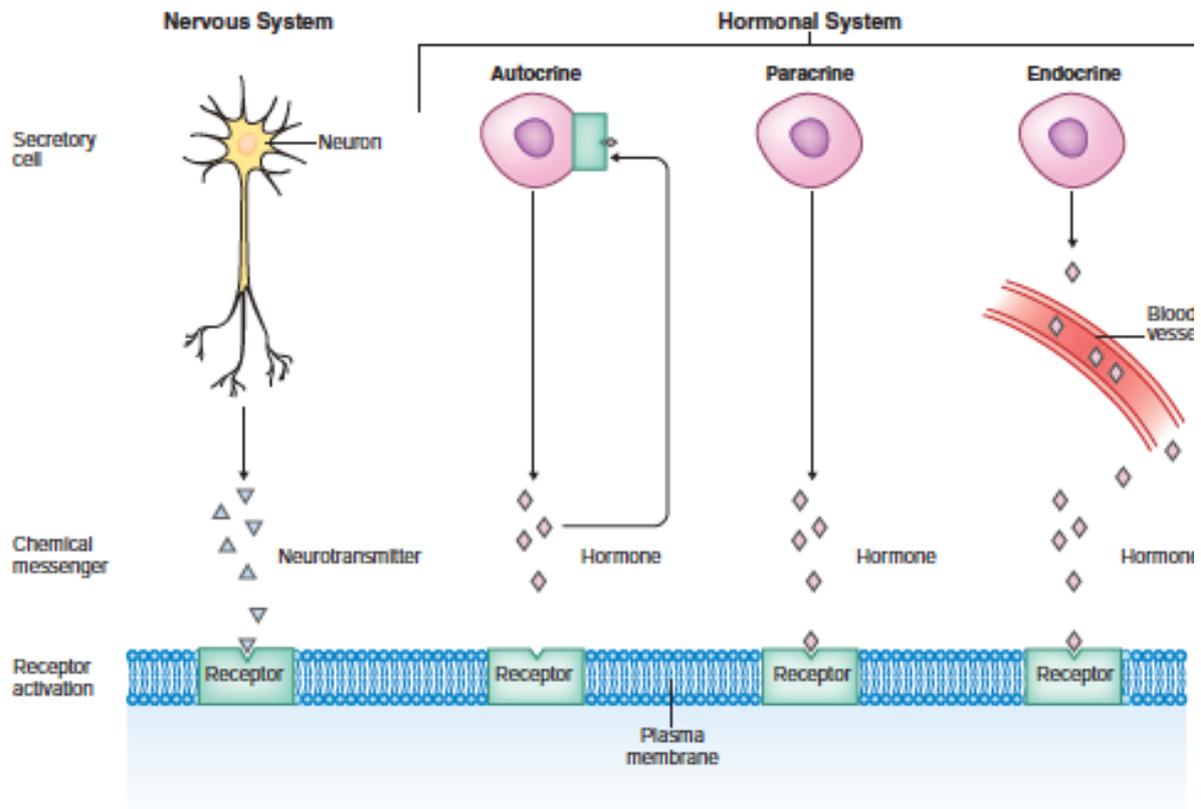
### Sruktur Dasar Sistem Endokrin

System endokrin dibentuk dari kantung glandula dan jaringan yang mensekresikan hormone. Hormone merupakan substansi kimiawi yang berasal dari jaringan glandula dan ditransportasikan melalui cairan tubuh menuju ke target sel guna mengaktifkan fungsi fisiologis sel tersebut. Kelenjar endokrin utama dalam aktifitas latihan adalah hipotalamus, pituitary, tiroid, paratiroid, adrenal, pankreas, dan gonads (testis & ovarium) (gambar 1). Jaringan lainnya yang mensekresi hormone adalah jantung, ginjal, hati, dan traktus gastrointestinal, sebagai pembentuk endotel, imunitas, dan sel adiposa. Hormone dilepaskan dari kelenjar endokrin melalui laju darah dan dikirimkan ke jaringan. Hormone yang dilepaskan dari sel, disekresikan ke cairan ekstraseluler untuk dapat didifusikan pada sel terdekat yang membutuhkan hormone guna menggunakan fungsi autocrine dan paracrine (gambar 2).



**FIGURE 21.6 Major Endocrine Glands.**

*Gambar 1*



**FIGURE 21.1 Chemical Messengers of the Nervous and Hormonal Systems.**

Both the nervous system and the hormonal system rely on chemical messengers to communicate with target organs. Neurons release neurotransmitters in close proximity to the target organ. Endocrine glands release hormones into body fluids (often the blood) and may have an effect on target organs throughout the body.

*Gambar 2*

## Aktifitas Sistem Hormonal

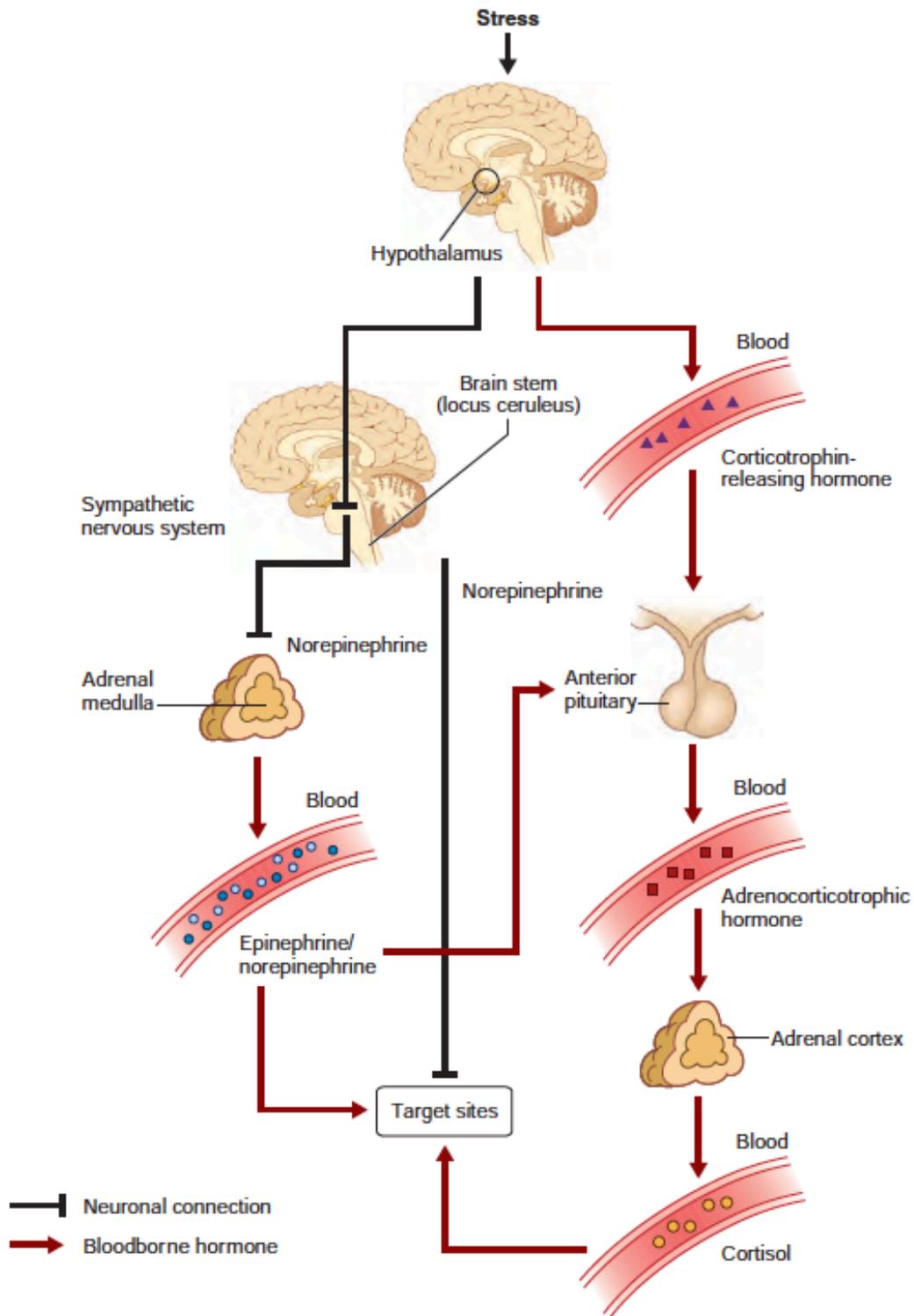
### Sekresi Hormon

Kelenjar endokrin dan jaringan dapat diaktifkan untuk mensekresikan hormone dengan 3 cara: neural, hormonal atau humoral. Aktifitas kelenjar endokrin dan hormone yang disekresikan oleh jaringan sangat bergantung dari sinyal kimiawi. Sintesa dan pelepasan hormone diatur oleh mekanisme timbal balik negative (negative feedback) guna mempertahankan homeostasis. Artinya mekanisme ini akan mengatur ulang tubuh kita jika ada ketidaknormalan system fungsi tubuh, sebagai contoh jika kita sedang berada di puncak gunung dimana suhu bisa mencapai  $<10\text{ C}$ , maka respon negative tubuh akan memberikan rangsangan pada tubuh untuk meningkatkan laju darah agar tubuh menjadi hangat.

Aktifitas saraf juga akan mempengaruhi kelenjar endokrin karena ada pelepasan sinyal neurotransmitter (NE) pada kelenjar untuk dapat melepaskan hormone, sebagai contoh saraf simpatis melepaskan NE untuk memberikan rangsangan medulla adrenal untuk melepaskan Epinefrin dan NE.

Harfiahnya aktifitas hormone dalam tubuh merupakan aktifitas satu hormone perangsang (hormone releasing factor) memberikan stimulasi pada kelenjar lain untuk dapat melepaskan hormone lainnya, ini disebut dengan trophic hormone. Hipotalamus mensekresikan thropic hormone berupa corticthopin-releasing hormone (CRH). CRH akan mengirimkan rangasangan ke pituitary guna melepaskan adrenocorticotrophic hormone (ACTH). Kemudian ACTH akan merangsang korteks

adrenal untuk melepaskan cortisol (stress hormone). Ada sebutan yaitu *axis* dalam system kerja ini dimana hormone dari satu kelenjar akan menyebabkan sekresi hormone pada kelenjar lainnya (gambar 3).



Gambar 3

Sebutan humoral lebih mengarah pada darah atau cairan tubuh. Aktifitas humoral ditujukan untuk memberikan rangsangan kelenjar endokrin melalui kadar nutrisi, elektrolit, air, ion, dan factor lainnya dalam darah. sebagai contoh, respon pankreas pada kadar glukosa darah yang dilepaskan oleh hormone insulin. Hal ini juga seperti kelenjar tirois dan paratiroid yang dirangsang guna melepaskan calcitonin dan hormone paratiroid pada respon kadar kalsium dalam darah (elektrolit).

### Kadar Hormon Dalam Darah

Konsentrasi plasma terhadap hormone bergantung pada tiga aspek, sebagai berikut:

1. Jumlah hormone yang disekresikan.
2. Jumlah pemecahan dan yang dibuang dari darah.
3. Konsentrasi hormone antara yang berikatan dengan yang tidak berikatan pada protein.

Hormone disekresikan tidak kontinyu (pulsed), periodic (hari/malam atau 24 jam), entropic (tidak teratur/bervariasi/moment to moment), atau bersiklus sesuai dengan kebutuhan oleh tubuh. Artinya tidak selalu hormone disekresikan disetiap aktifitas tubuh manusia. Beberapa hormone bekerja dalam waktu yang cepat dan hormone dapat dipecah dan dihilangkan oleh ginjal, hati, atau target sel. Sehingga kadar hormone dalam darah dapat memberikan pengaruh pada kondisi penyakit, temperature, ketinggian, status gizi, usia, jenis kelamin, latihan, kadar hidrasi, dan status latihan sesuai dengan kebutuhan tubuh.

### Pengaruh pada Respon Sel

Hormon akan memberikan pengaruh pada sel target dengan berikatan langsung pada reseptor ataupun sel target itu sendiri. Terikatnya hormone dengan reseptor disebut dengan aktifitas reseptor yang sangat bergantung dari tiga factor, menurut Marieb dan Hoehn (2010) yaitu:

1. Kadar hormone dalam darah.
2. Jumlah reseptor
3. Afinitas ikatan antara hormone dan reseptor.

Jumlah reseptor pada sel sangat bervariasi pada waktu tertentu dan terhadap respon aktifitas latihan akut dan kronis. Pada reseptor dengan afinitas tinggi akan menunjukkan respon hormone yang bisa kita lihat atau rasakan daripada reseptor dengan afinitas rendah. Kadar hormone dalam darah yang tinggi dapat meningkatkan jumlah reseptor (up-regulation) guna meningkatkan respon sel terhadap hormone yang diterima dan juga dapat menurunkan jumlah reseptor (down regulation) guna mencegah sel target overact terhadap kadar hormone yang tinggi. Kadar hormone dalam darah yang rendah juga dimungkinkan dapat menghasilkan up-regulation. Semakin banyak reseptor, konsentrasi hormone yang diperlukan akan menjadi rendah agar tetap menjaga aktifitas fisiologis normal tubuh.

## Pengaturan endokrin pada latihan

Latihan dianggap sebagai stressor fisik yang memacu tubuh agar terus dapat berhomeostasis. System neurendokrin, system otonom, dan hipotalamic-pituitary-adrenal axis, akan bereaksi untuk menjaga homeostasis ketika tubuh melakukan aktifitas latihan

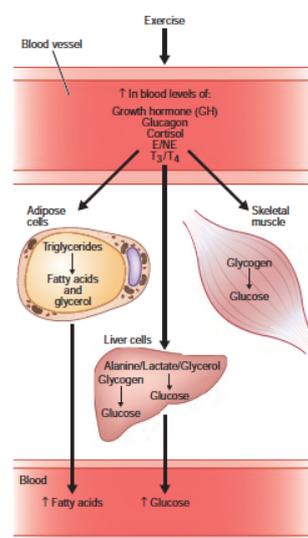
## Pengaturan hormone pada metabolisme

Peran hormone dalam pengaturan metabolisme tubuh dimulai dengan kontrol GI tract motility dan penyerapan makanan, simpanan dan penggunaan energi, dan aktifitas metabolisme sel. Maka capaian pengaturan hormone adalah mempertahankan sumber metabolisme (karbohidrat, lemak & protein) dalam sel untuk digunakan berulang dalam memproduksi energi. Selain itu pula pengaturan hormone dalam metabolisme juga mempertahankan kadar gula darah untuk menyuplai jaringan saraf yang membutuhkan glukosa terutama ketika latihan.

Capaian system endokrin pada aktifitas metabolisme:

1. Mobilisasi sumber energi untuk memproduksi ATP sesuai dengan kebutuhan kontraksi otot.
2. Mempertahankan kadar gula darah.

Ketika melakukan latihan fisik, akan terjadi kenaikan kadar glucagon, epinefrin, norepinefrin, growth hormone, dan kortisol dengan target sel/jaringan adalah otot skelet, hati, dan adiposa. Jika hormone berikatan pada reseptor dalam jaringan adiposa, simpanan lemak akan dikurangi dan memobilisasi lemak dengan memecahkan trigliserid menjadi asam lemak dan gliserol. Ketika hormone berikatan dengan reseptor pada hati, glikogen akan terpecah menjadi glukosa dan glukosa juga dapat disintesa dari bentuk lain seperti alanin (asam amino), gliserol, atau laktat. Dan ketika hormone berikatan dengan reseptor pada otot skelet, akan memecah glikogen menjadi glukosa. Sehingga otot akan mendapatkan sumber energi dari darah yang membawa glukosa dan asam lemak untuk diubah menjadi ATP (Gambar 4)



**FIGURE 21.9 Effect of Metabolic Hormones.** Metabolic hormones affect adipose cells, liver cells, and skeletal muscle. The net effect of the metabolic hormones is to increase fuel availability.

Gambar 4

## Pengaturan hormone pada fungsi kardiovaskular

Capaian system hormone pada fungsi kardiovaskular adalah:

1. Meningkatkan fungsi jantung
2. Mendistribusikan darah ke jaringan
3. Mempertahankan tekanan darah dengan menstabilkan kadar cairan dan keseimbangan elektrolit.

Meningkatkan fungsi jantung dan distribusi darah guna memfungsikan otot merupakan peran epinefrin dan norepinefrin yang dilepaskan oleh medulla adrenal. Hormone adrenal akan mengirimkan rangsangan pada system saraf simpatis yang akan terus menaikkan fungsi jantung dalam mengirimkan darah dengan ditandai kenaikan denyut nadi saat latihan. Epinefrin sangat berguna untuk meningkatkan laju darah untuk dikirimkan ke otot dan jantung, sedangkan norepinefrin akan menyebabkan vasokonstriksi pembuluh darah dan berdampak pada kenaikan tekanan darah. Saat latihan hormone antidiuretic akan menjaga stabilitas cairan dan elektrolit yang digunakan untuk mengkontraksikan otot. Adiponectin merupakan bentuk lain dari adipokinase yang diakitkan dengan kondisi resistensi insulin dan sindroma metabolic.

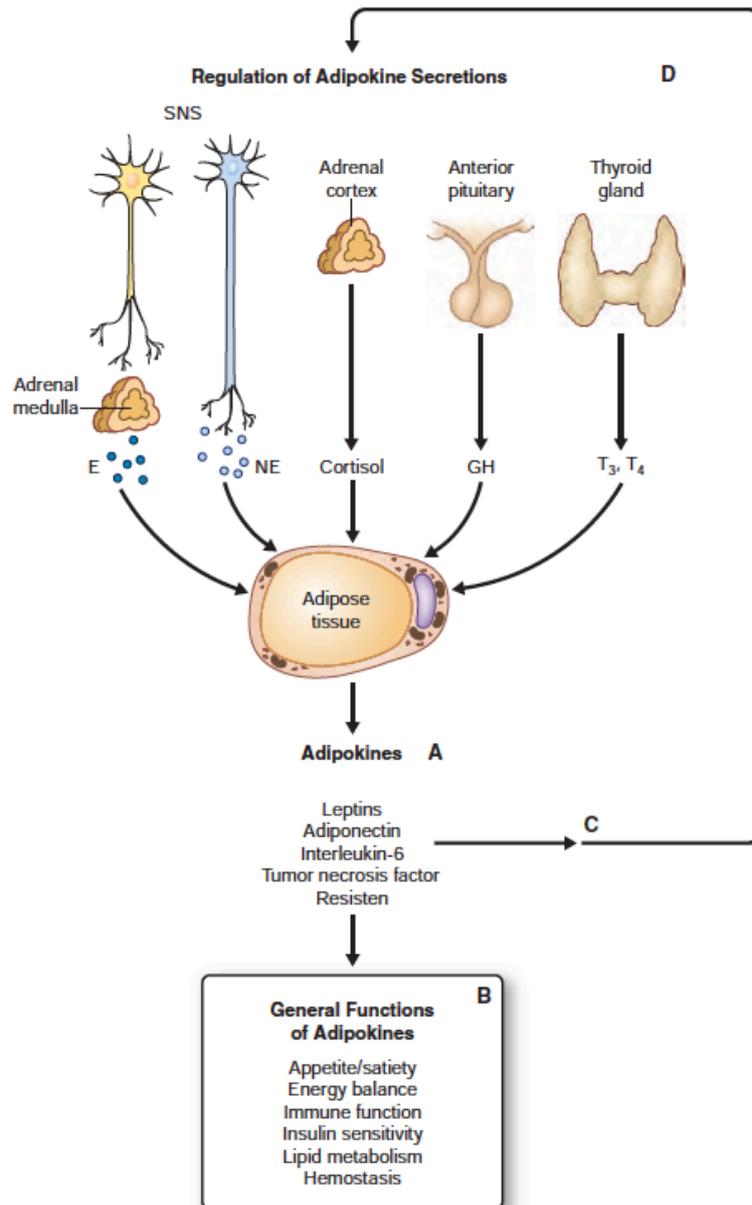
## Keterlibatan hormone pada otot, tulang dan jaringan adiposa

Hormone terlibat pada struktur dan fungsi dari otot, tulang, dan adiposa pada respon akut latihan, namun masa yang penting adalah perannya terhadap pemulihan dan adaptasi latihan. Dimana meliputi growth hormone (GH), insulin-like growth factor (IGF), testosterone, estrogen, progesterone, calcitonin, paratiroid hormone (PTH), dan leptin. Peran PTH, calcitonin, dan estrogen terhadap kesehatan tulang. Pengaruh GH adalah menstimulasi produksi IGF dari hati, otot dan jaringan ikat untuk sintesa protein. Pengaruh IGF ini juga mengikat asam amino, sintesa otot, sintesa kolagen, tulang dan pertumbuhan kartilago, dan mempertahankan struktur otot dari lemak. Sedangkan testosterone bertanggungjawab pada proses anabolic untuk melepaskan GH guna mempertahankan rasio masa otot dan masa lemak pada pria dewasa.

Jaringan adiposa merupakan organ endokrin yang berperan penting mengatur metabolisme energi. Jaringan adiposa menyekresikan cytokine dari sel-sel imunitas. Karena dikeluarkan oleh adiposa maka disebut dengan adipokinase. Adipokinase merupakan peptide bioaktif yang bekerja tersistematis melalui autocrine, paracrine, dan endokrin guna memproses metabolisme lipid, mengatur fungsi imunitas dan homeostasis. Adipokinase yang paling menonjol adalah hormone satiety (rasa kenyang), dan leptin. Jika ada orang dengan kondisi obesitas, mereka dikaitkan dengan konsisi defisiensi leptin. Jaringan adiposa dengan demikian berfungsi sebagai organ endokrin dan memainkan peran penting dalam mengintegrasikan fungsi sistem neuroendokrin, sistem kekebalan tubuh, dan metabolisme. Hubungan fisiologis ini membantu menjelaskan peran peningkatan adipositas dalam perkembangan aterosklerosis, ketidakseimbangan hemostatik, resistensi insulin, dan perkembangan sindrom metabolik.

**FIGURE 21.10 Adipose Tissue as an Endocrine Gland.**

A. Adipose tissue secretes several peptides, collectively called adipokines, which have widespread and coordinated functions throughout the body (B). C. Adipokines also help modulate a multitude of neurohormonal factors that, in turn, regulate the secretion of adipokines from adipose tissue (D).



Gambar 5

Latihan beban akan merubah kondisi adaptasi fisiologis baik akut (baru saja mengikuti latihan) maupun kronis (sudah sering melakukan latihan). Adaptasi yang dicapai berupa kekuatan otot, hipertrofi, daya ledak, dan daya tahan otot. Pada kondisi latihan akut perlu memperhatikan respon remodeling pada jaringan otot yang diatur dari neuroendokrin . akan terjadi peningkatan hormone pada latihan beban/tahanan, dan konsentrasi hormone dalam sirkulasi darah.

Setiap dosis latihan (intensitas, volume, istirahat, & frekuensi) akan mengubah kerja neuroendokrin sehingga menjadi adaptasi pada system neuromuscular. Dengan adanya prinsip progressive overload, recruitment motor unit akan bertambah sehingga terjadi penambahan serabut otot dan massa otot.

## Testosteron

### Respon Akut terhadap latihan beban

Pada pria terjadi peningkatan konsentrasi testostosterone, dimana terjadi penurunan volume plasma, ada rangsangan adrenergic, sekresi laktat sehingga terjadi adaptasi sekresi pada sel Leydig pada testis. Hormone ini akan sebagai suplemen untuk mengatur GH, proses anabolic IGF-1, menambah jumlah neurotransmitter, regenerasi saraf, menambah ukuran tubuh sel dan panjang dendrit.

Table I. The effects of intensity and volume on the acute total testosterone response

Study	Protocol	Results
Weiss et al. <sup>[7]</sup>	Three sets of four exercises to failure, 80% of 1RM with 2 min RI	Sig. ↑ in T
Ratamess et al. <sup>[35]</sup>	1 × 10 squats, 80–85% 1RM 6 × 10 squats, 80–85% 1RM, 2 min RI	NC Sig. ↑ in T
Raastad et al. <sup>[31]</sup>	70% of 3–6RM vs 100% of 3–6RM	Sig. ↑ in T; 100% >70%
Schwab et al. <sup>[32]</sup>	4 × 6 squats (90–95% of 6RM) 4 × 9–10 (60–65% of load used for high intensity)	31% ↑ in T 27% ↑ in T
Bosco et al. <sup>[34]</sup>	20 sets of 2–4 reps vs 10 sets of 2–3 reps of half squats	Sig. ↑ in T NC
Häkkinen and Pakarinen <sup>[33]</sup>	20 sets of 1RM squats 10 sets of 10 reps with 70% of 1RM	NC Sig. ↑ in T
Gotshalk et al. <sup>[36]</sup>	One vs three sets of 10RM for eight exercises	Sig. ↑ in T; 3 > 1
Kraemer et al. <sup>[29,30]</sup>	Eight exercises, 3–5 × 5RM vs 10RM with 1- and 3-min RI	Sig. ↑ in T; T ↓ as load ↓ and RI ↑

NC = no change; reps = repetitions; RI = rest interval; RM = repetition maximum; sig. = significant; T = testosterone; ↓ indicates decrease; ↑ indicates increase.

Pada table diatas menjelaskan bahwa latihan kekuatan maksimal akan lebih signifikan meningkatkan konsentrasi testostosterone. Perlu kita ketahui bahwa latihan kekuatan maksimal diberikan dengan besar beban dengan rentang 70%-90% dari kemampuan maksimum repetisi seseorang. Selain beban, jumlah latihan juga akan berpengaruh pada testostosterone. Sehingga respon peningkatan testostosterone ini juga sangat bergantung dari dosis dan variasi latihan yang diberikan.

Respon kronis pada fase istirahat, konsentrasi testostosterone lebih cenderung akan terjadi penurunan dibandingkan ketika fase berlatih. Bahkan beberapa studi menjelaskan penurunan tersebut akan kembali mendekati tingkat normalnya tubuh.

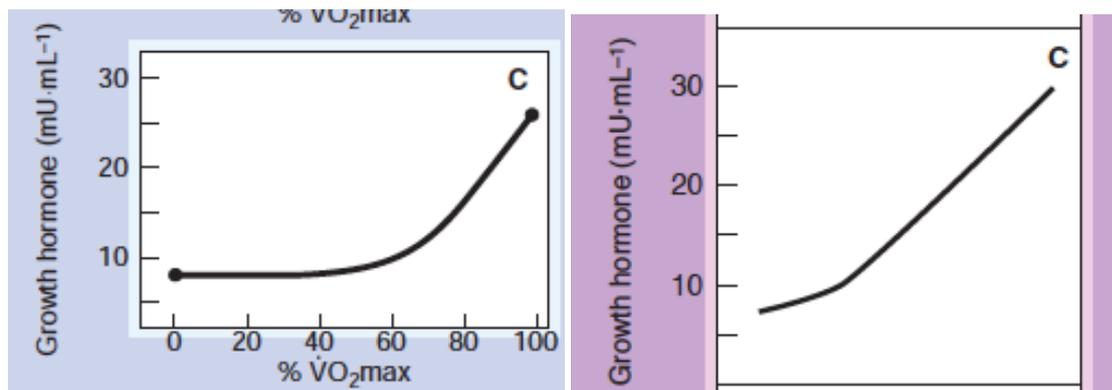
## Growth Hormon

### Respon Akut terhadap latihan beban

Beberapa studi memberikan latihan squat dengan beban 75% dari 1RM 10 repetisi dengan jeda istirahat 2 menit terjadi peningkatan molekul hormone GH pada wanita. Hal ini terjadi baik pada kondisi wanita yang lemah maupun yang memiliki kekuatan otot baik. Berdasarkan studi tersebut, GH sangat responsive ketika diberikan latihan beban dan berdampak pada recruitment motor unit yang lebih besar dan terjadi hipertropi otot dikarenakan GH akan berikatan langsung pada protein. Namun, GH sangat kurang peningkatannya pada bentuk latihan daya tahan.

Respon kronis yang terjadi pada GH adalah mengontrol homeostasis. Pada tahap istirahat GH akan tetap bekerja untuk dapat meremodelling jaringan paska latihan, sehingga terjadi adaptasi seluler pada pembentukan serabut otot baru. Peroses tersebut juga sangat

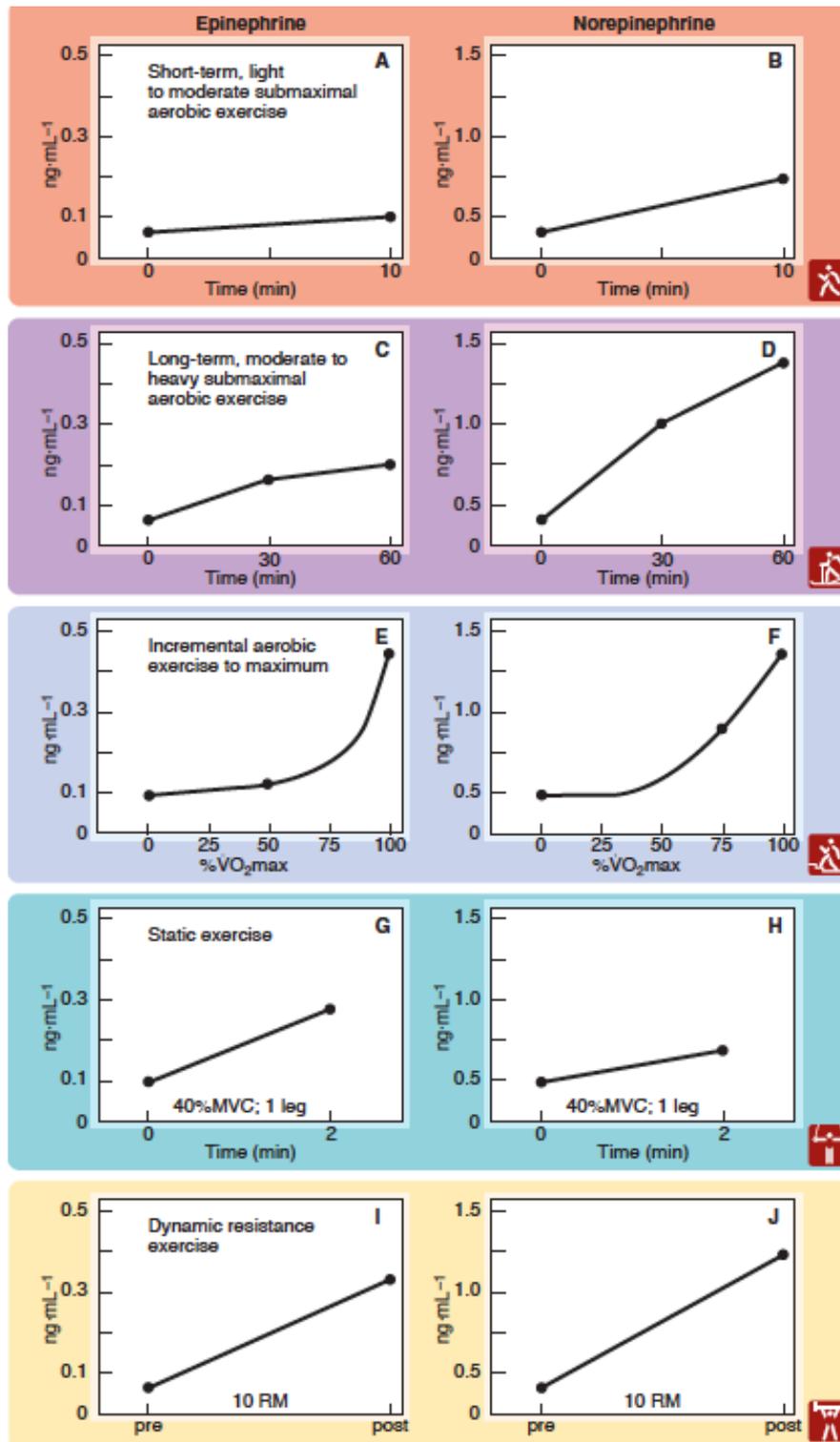
berpengaruh pada respon feedback tubuh, sensitifitas reseptor, IGF-1, dan variasi latihan per harinya.



### Catecholamine

#### Respon Akut terhadap latihan beban

Catecholamine sangat diperlukan guna meningkatkan tenaga dari kontraksi otot. Ketika melakukan latihan beban konsentrasi epinefrin, norepinephrine, dan dopamine akan terjadi peningkatan. Respon pada latihan aerobik dalam waktu yang pendek hanya akan terjadi sedikit kenaikan konsentrasi sedangkan pada latihan aerobik dalam waktu yang lama akan meningkatkan konsentrasi epinefrin dan norepinephrine. Pada latihan dengan capaian VO<sub>2</sub>max mendekati 100% juga akan meningkatkan konsentrasi hormone ini. Tidak hanya pada latihan aerobik, ada perbedaan konsentrasi yang terjadi antara bentuk latihan statis dengan latihan dinamis. Latihan dinamis lebih cenderung meningkatkan kerja catecholamine



**FIGURE 21.11** Epinephrine and Norepinephrine Responses to Various Categories of Exercise.

(A, B) Short-term, light to moderate submaximal aerobic exercise. (C, D) Long-term, moderate to heavy submaximal aerobic exercise. (E, F) Incremental aerobic exercise to maximum. (G, H) Static exercise. (I, J) Dynamic resistance exercise.

**Sources:** Galbo, H.: *Hormonal and Metabolic Adaptation to Exercise*. New York, NY: Thieme-Stratton (1983); Kraemer, W.J.: Endocrine responses to resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 20(5):S152–S157 (1988).

## Catecholamine Response to Resistance Exercise

The responses of the adrenal medullary hormones, epinephrine (E) and norepinephrine (NE), have been relatively well studied. However, little was known about the response of these hormones to the stress of heavy resistance exercise. Therefore, Bush and colleagues designed a study to examine the effect of dynamic resistance exercise on the response of the adrenal medullary hormones immediately after different protocols of resistance exercise and during recovery. Each participant was tested on 2 days: on one day, participants performed a high-force protocol (using a 10-repetition maximum), and on the other day, they performed a high-power protocol (using 15 repetitions). The total work performed on each day was equal. Blood was drawn at four different times: before each resistance training

session, immediately postexercise (0-minute recovery), after 15 minutes of recovery, and after 4 hours of recovery. The concentration of norepinephrine and epinephrine in the plasma at each time with the two protocols is shown in the figures below.

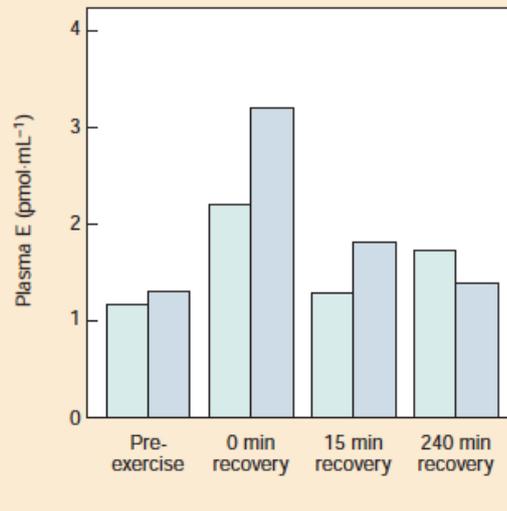
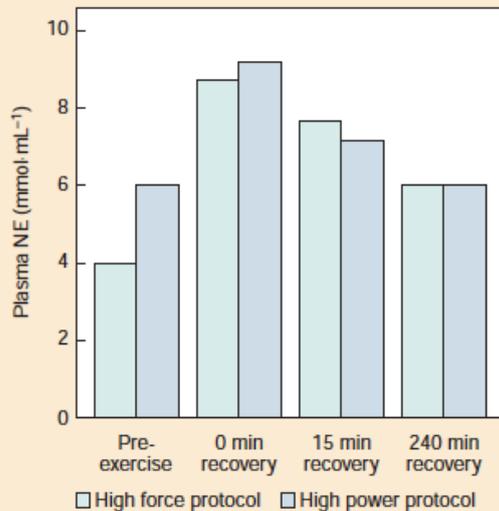
Statistical analysis revealed the following:

1. Norepinephrine was significantly higher postexercise in both protocols.
2. Epinephrine increased significantly following exercise in both protocols and returned to near baseline levels by 15 minutes of recovery.

These results indicate that heavy resistance exercise activates the adrenal medulla. Because the activation of the sympathetic nervous system, the “fight

or flight” response, is thought to be an important mediator of acute stress, the elevation of norepinephrine and epinephrine after a bout of heavy resistance exercise suggests that the neuroendocrine system helps regulate the body’s response to the stress of resistance exercise. Furthermore, the similar response of NE and E in the two protocols suggests that, as long as the total work is equal, subtle differences in mean force and mean power characteristics of a workout do not affect this hormonal response.

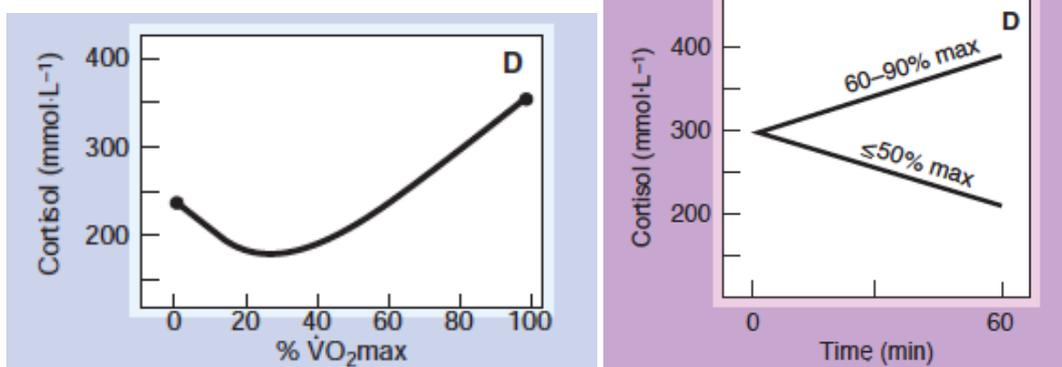
**Source:** Bush, J. A., W. J. Kraemer, A. M. Mastro, N. T. Triplett-McBride, J. S. Volek, M. Putukian, W. J. Sebastianelli, & H. G. Knuttgen. Exercise and recovery responses of adrenal medullary neurohormones to heavy resistance exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 31(4):554–559 (1999).



## Cortisol

### Respon Akut terhadap latihan beban

Cortisol akan naik konsentrasinya pada latihan dengan intensitas 60%-90% baik aerobic maupun beban. Dan akan terjadi penurunan jika intensitas <50%

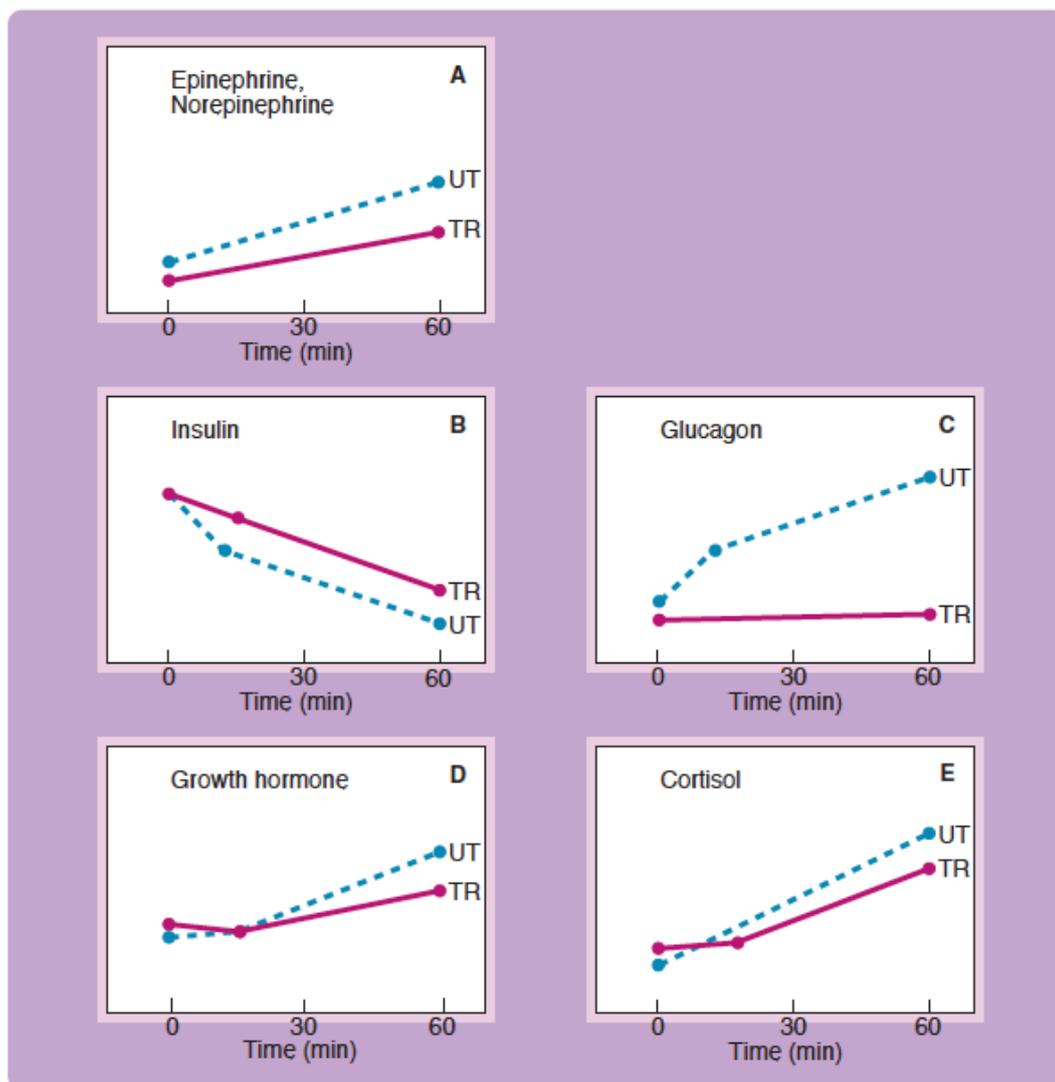


Pengaruh cortisol dijelaskan dalam table dibawah ini:

TABLE 21.4 Multiple Effects of Cortisol on Various Bodily Functions	
Category of Function	Cortisol Activities
Metabolism	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Protein degradation in muscle and connective tissue</li> <li>↓ Protein synthesis in muscle and connective tissue</li> <li>↓ Amino acid transport into muscle</li> <li>↑ Amino acid transport into liver</li> <li>↑ Gluconeogenesis</li> <li>↑ Glycogen synthesis in liver</li> <li>↓ Glucose uptake and utilization</li> <li>↑ Lipolysis</li> </ul>
Immunity	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Inflammatory cytokines (IL-1 and IL-6)</li> <li>↓ Capillary permeability</li> <li>↓ Phagocytosis</li> <li>↓ T lymphocytes</li> </ul>
Circulation and blood	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Vasoconstriction</li> <li>↑ Blood volume (body fluid retention)</li> <li>↑ Erythrocyte and leukocyte synthesis</li> </ul>
Kidney function	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Glomerular filtration rate</li> <li>↑ Sodium retention</li> </ul>
Brain functions	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Mood (euphoria) ↓Mood (depression)</li> <li>↓ Taste, hearing, and smell</li> <li>↓ Food intake</li> </ul>

Source: Modified from Borer, K.T.: *Exercise Endocrinology*. Champaign, IL: Human Kinetics (2003).

Perubahan adaptasi pada hormone terlihat jika diberikan latihan dalam waktu lama. Dampak perubahan ini akan berpengaruh pada kerja otot, tulang, dan adiposa. Pada otot terjadi pertumbuhan GH sehingga massa otot bertambah. Pada tulang akan terlihat densitas tulangnya lebih padat pada tubuh yang terlatih dibandingkan dengan tak terlatih. Pada jaringan adiposa, lemak akan berkurang dimana lemak akan digunakan sebagai energi pada olahraga daya tahan lama.



**FIGURE 21.14 Training Adaptations Exhibited During Long-Term Submaximal Aerobic Exercise.**

A. Epinephrine, norepinephrine. B. Insulin. C. Glucagon. D. Growth hormone. E. Cortisol.

**Sources:** Bunt, J. C.: Hormonal alterations due to exercise. *Sports Medicine*. 3:331–345 (1986); Coggan, A. R., & B. D. Williams: Metabolic adaptations to endurance training: Substrate metabolism during exercise. In Hargraves, M. (ed.): *Exercise Metabolism*. Champaign, IL: Human Kinetics, 177–210 (1995); Kjaer, M., & K. Lange: Adrenergic regulation of energy metabolism. In Warren, M. P. & N. W. Constantini (eds.): *Sports Endocrinology*. Totowa, NJ: Humana Press, 181–188 (2000); Sutton, J. R., P. A. Farrell, & V. J. Harber: Hormonal adaptations to physical activity. In Bouchard, C., R. J. Shephard, T. Stephens, J. R. Sutton, & B. D. McPherson (eds.): *Exercise, Fitness, and Health*. Champaign, IL: Human Kinetics, 217–257 (1990).

