Влияние физической активности на пролактин и гормоны щитовидной железы

Демидова Т. Ю., Скуридина Д. В., Кочина А. С.

Гормоны щитовидной железы тироксин и трийодтиронин, а также гормон передней доли гипофиза пролактин играют важную роль в различных физиологических процессах в организме человека. В стрессовых ситуациях реакция этих гормонов направлена на сохранение гомеостаза. Одним из мощных стрессоров, вызывающих высвобождение этих гормонов, является физическая активность. Пролактин и гормоны щитовидной железы контролируют энергетическое обеспечение физической активности, а также являются важным звеном адаптивно-восстановительных реакций в ответ на физическую активность.

Ключевые слова: физическая нагрузка, спорт, пролактин, щитовидная железа, тиреотропный гормон.

Отношения и деятельность: нет.

ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия.

Демидова Т. Ю. — д.м.н., профессор, зав. кафедры эндокринологии лечебного факультета, ORCID: 0000-0001-6385-540X, Скуридина Д. В. — ассистент кафедры эндокринологии лечебного факультета, ORCID: 0000-0002-6899-4457, Кочина А. С.* — аспирант кафедры эндокринологии лечебного факультета, ORCID: 0000-0002-6826-5924.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author): anna_kochina@mail.ru

ТТГ — тиреотропный гормон, Т3 — трийодтиронин, Т4 — тироксин.

Рукопись получена 06.09.2021

Рецензия получена 13.09.2021

Принята к публикации 01.11.2021

Для цитирования: Демидова Т. Ю., Скуридина Д. В., Кочина А. С. Влияние физической активности на пролактин и гормоны щитовидной железы. *Академия медицины и спорта*. 2021;2(3):25-29. doi:10.15829/2712-7567-2021-34

Effects of physical activity on prolactin and thyroid hormones

Demidova T. Yu., Skuridina D. V., Kochina A. S.

Thyroid hormones thyroxine and triiodothyronine, as well as the hormone of anterior pituitary gland prolactin, play an important role in various physiological processes in the human body. In high-stress situations, these hormones act to maintain homeostasis. One of the severe stressors is physical activity. Prolactin and thyroid hormones control the energy metabolism during physical activity, and are also an important link in adaptive reactions in response to physical activity.

Keywords: physical activity, sports, prolactin, thyroid gland, thyroid-stimulating hormone.

Relationships and Activities: none.

Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia.

Demidova T. Yu. ORCID: 0000-0001-6385-540X, Skuridina D. V. ORCID: 0000-0002-6899-4457, Kochina A. S.* ORCID: 0000-0002-6826-5924.

*Corresponding author:
anna_kochina@mail.ru

Received: 06.09.2021

Revision Received: 13.09.2021

Accepted: 01.11.2021

For citation: Demidova T. Yu., Skuridina D. V., Kochina A. S. Effects of physical activity on prolactin and thyroid hormones. *Academy of medicine and sports*. 2021;2(3):25-29. doi:10.15829/2712-7567-2021-34

Функции и регуляция синтеза пролактина

Пролактин секретируется в основном лактотрофными клетками передней доли гипофиза, а также в молочной железе, децидуальной оболочке матки, жировой ткани и некоторых отделах центральной нервной системы и иммунной системы. Во многих тканях человеческого организма содержатся рецепторы к пролактину. Высвобождение гормона и его физиологические функции связаны с реакцией на эмоциональный и физический стресс, регулированием водного баланса, образованием сурфактанта плода, активацией иммунной системы и репродуктивной функцией. Подавляющее большинство исследований пролактина посвящено репродуктивной функции, т.к. долгое время считалось, что пролактин был связан только с беременностью и лактогенезом у женщин. В дополнение к базальному уровню, из-

меняющемуся из-за усиливающих или тормозящих стимулов, пролактин имеет суточную секрецию с пиковыми уровнями во время быстрой фазы сна [1].

Секрецию пролактина подавляет дофамин, вырабатываемый в гипоталамусе. Еще одним ключевым регулятором секреции пролактина является эстроген, который увеличивает выработку и секрецию пролактина в гипофизе. В дополнение к дофамину и эстрогену, ряд других гормонов может как увеличивать, так и уменьшать количество пролактина, синтезируемого в организме (рис. 1) [1, 2].

Влияние физической активности на пролактин

Физическая активность способствует повышению уровня пролактина, причем повышение пропорционально интенсивности физической активности. Неясно, существует ли определенный порог интен-

Рис. 1. Факторы, влияющие на синтез пролактина передней долей гипофиза.

Сокращения: ВИП — вазоактивный интестинальный пептид, ГАМК — гамма-аминомасляная кислота, СИОЗС — селективные ингибиторы обратного захвата серотонина.

сивности упражнений, необходимый для изменения уровня гормонов, но обнаружено, что большинство анаэробных упражнений инициируют значительное и быстрое повышение уровня пролактина [3]. Если физическая нагрузка интенсивная, но кратковременная, пиковая концентрация пролактина может возникать уже по окончании тренировки, т.е. в период восстановления после физической нагрузки [3, 4].

Во время длительных упражнений секреция пролактина у спортсменов возрастает пропорционально интенсивности, с которой выполняется упражнение, и со временем достигает плато. При этом увеличение продолжительности тренировки также способствует повышению секреции пролактина [5, 6]. Однако при исследовании влияния физической нагрузки на пролактин у женщин в постменопаузе не было отмечено значимых различий в уровне пролактина при выполнении упражнений 150 мин в нед. по сравнению с физической нагрузкой в объеме 300 мин [7].

В исследовании Hackney A, et al. проводилось сравнение уровня пролактина у мужчин после дневной тренировки и аналогичных измерений в день без тренировки. Примечательно, что помимо повышения уровня пролактина сразу после тренировки в этот день у участников исследования было отмечено повышение уровня пролактина ночью в 2-3 раза по сравнению с днем без тренировки [8].

При сравнении динамики уровня пролактина у спортсменов, выполняющих разные виды физической нагрузки, было обнаружено, что анаэробная физическая нагрузка способствует более выраженному повышению пролактина во время тренировки

и через 1 час по ее окончании. При аэробной физической нагрузке повышение пролактина во время тренировки и после часового отдыха оказалось в 2 раза меньше, чем при анаэробной, однако в течение последующих 8 ч отдыха, наоборот, уровень пролактина после аэробной физической нагрузки был выше, чем после анаэробной [9]. В исследовании Daly W, et al. спортсмены выполняли аэробную тренировку максимальной интенсивности до момента усталости. В этот момент была отмечена максимальная концентрация пролактина, в 5 раз превышающая уровень пролактина до тренировки. Измерения пролактина через 30, 60, 90 мин после прекращения тренировки демонстрировали его постепенное снижение, а через 24 ч уровень пролактина сравнялся с уровнем до тренировки [5].

Результаты весьма противоречивы в отношении влияния регулярной физической нагрузки на базальный уровень пролактина в состоянии покоя. В некоторых исследованиях сообщается об увеличении уровня в покое, в то время как другие, наоборот, отмечают его снижение [10, 11]. Эта неоднозначность, вероятно, связана с различиями в программе тренировок: их интенсивности, частоте и продолжительности. При исследовании реакции пролактина на субмаксимальные физические нагрузки было обнаружено, что в течение первого месяца уровни пролактина до тренировки мало отличались от уровней после, однако к концу второго месяца различие было более значимым [12].

Radomski M, et al. изучили взаимосвязь уровня пролактина и температуры тела во время трениров-

ки. Исследователи пришли к выводу, что температурный порог, при котором отмечается повышение уровня пролактина, составляет 38° С. Дальнейшее повышение температуры тела было ассоциировано с пропорциональным увеличением секреции пролактина [13]. В другом исследовании во время физической нагрузки спортсменам охлаждали область лица, при этом не наблюдалось такого же существенного прироста пролактина, как при обычной тренировке [14].

Влияние физической нагрузки на синтез В-лимфоцитов, секретирующих пролактин, было продемонстрировано в исследовании Dohi K, et al. Общая экспрессия пролактиновых рецепторов после физической нагрузки увеличилась приблизительно на 30% по сравнению с уровнем до нагрузки, а количество В-лимфоцитов, секретирующих рецепторы пролактина, возросло с 100 до >200 клеток в миллилитре крови. Авторы связывают активацию синтеза рецепторов пролактина со стимулирующим влиянием возрастающих уровней пролактина [15].

Кроме того, имеются данные, подтверждающие, что как у мужчин, так и у женщин, регулярно выполняющих физическую нагрузку, секреция пролактина, стимулированная лекарственными препаратами, выше. В ответ на приём антагонистов дофамина уровень пролактина у тренированных участников исследования практически в 2 раза превышал уровень пролактина у пациентов, не выполняющих регулярные физические упражнения [16, 17].

Добавление регулярной физической активности к терапии каберголином у пациентов с гиперпролактинемией способствовало более значимому снижению уровня пролактина, а также повышению качества жизни пациентов за счёт улучшения физического и психического состояния [18].

Функция и регуляция гормонов щитовидной железы

Щитовидная железа выделяет в кровотоки гормоны тироксин (Т4), трийодтиронин (Т3) и кальцитонин. Важная роль Т4 и Т3 в поддержании гомеостаза отводится их широкому спектру действия на обменные процессы в ряде тканей и органов [19]. Кальцитонин является ключевым звеном в поддержании уровня кальция в крови. В связи с тем, что органы-мишени и механизмы действия на них Т3, Т4 и кальцитонина кардинально различаются, в данном обзоре под гормонами щитовидной железы будут пониматься Т3 и Т4, влияние же физической активности на кальцитонин рассмотрено не будет.

Секреция гормонов щитовидной железы контролируется тиреотропным гормоном (ТТГ) передней доли гипофиза. Синтез ТТГ, в свою очередь, регулируется тиреолиберинотипом гипоталамуса. Регуляция всех этих гормонов осуществляется согласно ме-

Таблица 1

Факторы, оказывающие стимулирующее или подавляющее влияние на компоненты оси гипоталамус — гипофиз — щитовидная железа

Гормон	Регулирующие факторы
Тиреолиберин	+ норэпинефрин + сон + эмоциональный, физический стресс + низкая температура окружающей среды - соматостатин - соматолиберин - дофамин
ТТГ	+ тиреолиберин + эстрогены - гормон роста - глюкокортикоидные гормоны
Т4, Т3	+ ТТГ - Т3, Т4

Примечание: (+) — стимулирующее влияние, (-) — подавляющее влияние.

Сокращения: ТТГ — тиреотропный гормон, Т3 — трийодтиронин, Т4 — тироксин.

ханизму отрицательной обратной связи в оси гипоталамус — гипофиз — щитовидная железа [20]. Факторы, оказывающие стимулирующее или подавляющее влияние на компоненты этой оси, представлены в таблице 1 [21].

В крови гормоны щитовидной железы существуют либо в связанной, либо в свободной форме. В связанных формах гормоны щитовидной железы существуют в виде комплексов с тиреоглобулином, тироксин-связывающим преальбумином и альбумином. Свободные формы Т4 и Т3 представляют собой небольшую часть соответствующих общих Т4 и Т3. Свободные формы являются биологически активными формами этих гормонов [20].

Щитовидная железа в значительной степени влияет на множество функций тканей и органов, а также на рост и развитие организма в течение всей жизни человека, хотя этот эффект индивидуален и зависит от возраста. Примерами этих физиологических эффектов, особенно имеющих отношение к способности человека заниматься физическими упражнениями, являются: повышение интенсивности процессов окислительного фосфорилирования в митохондриях и, как следствие, повышение скорости основного обмена; повышение чувствительности тканей к катехоламинам, имеющим кардиогенный эффект, увеличивая частоту сердечных сокращений и сократительную способность миокарда; усиление липидного обмена в скелетных мышцах, а также усиление гликогенолиза печени, что влияет на скорость обмена глюкозы в крови [21].

Влияние физической нагрузки на гормоны щитовидной железы

В исследовании взаимосвязи интенсивности физической нагрузки и секреции гормонов щитовид-

ной железы у крыс исследователи измеряли уровни гормонов через 30, 60 и 120 мин после окончания физической активности. Сразу же после физической активности было зафиксировано значительное повышение уровня Т3, которое постепенно снижалось и к 120 мин достигло уровня даже ниже, чем у крыс контрольной группы. Уровень общего Т4 постепенно возрастал и к 120 мин значительно превышал соответствующие уровни у крыс контрольной группы [22].

Исследуя влияние на щитовидную железу продолжительной субмаксимальной физической нагрузки (~3 ч), Berchtold P, et al. обнаружили, что общий Т4 повышается к 60 мин тренировки, но затем снижается после тренировки (т.е. при восстановлении). Т3 же снижался непрерывно во время такой тренировки [23, 24]. Интенсивные физические нагрузки максимального уровня, но меньшей продолжительности были ассоциированы со снижением уровня ТТГ и свободного Т4, и повышением уровня общего Т3 [25]. Наконец, Opstad K, et al. делают вывод о том, что регулярная физическая нагрузка низкой интенсивности, например, военные полевые операции, связанные с нарушением сна и ограничениями в питании, существенно снижает уровни Т4, Т3 и ТТГ в состоянии покоя [26].

Исследования влияния анаэробных упражнений на щитовидную железу немногочисленны. McMurray R, et al. провели исследование по изучению функции щитовидной железы сразу после тренировки и через 12 ч восстановления (ночью) после интенсивных упражнений с сопротивлением. Вызванное гемоконцентрацией временное, но значительное повышение уровня общих Т4 и Т3 произошло сразу после тренировки. Ночью также наблюдалось значительное повышение общего Т3 [27]. Исследователи предположили, что обнаруженные изменения были вызваны ускорением метаболизма, необходимого для восстановления тканей, и увеличением синтеза белка [19, 28].

Важно отметить, что различия в температуре окружающей среды могут изменить реакцию щитовидной железы на физические нагрузки. Например, Deligiannis A, et al. изучили функцию щитовидной железы у пловцов, занимающихся спортом при разных температурах воды. Исследователи обнаружили, что уровни ТТГ и свободного Т4 во время тренировки в холодной воде (при 20° С) значительно превышали уровни этих гормонов до тренировки. Аналогичное повышение наблюдалось при температуре воды 26° С, однако при температуре 32° С, наоборот, наблюдалось снижение уровней ТТГ и свободного Т4. Примечательно, что уровни свободного Т3 во всех трех ситуациях оказались одинаковыми [29]. Эти данные подтверждаются в исследовании Zhang Z, et al., в котором был сделан вывод о повы-

шении уровней тиреолиберина и ТТГ после стимуляции холодовых рецепторов [30].

Связь пролактина и гормонов щитовидной железы в контексте физической активности

Синтез гормонов щитовидной железы и пролактина имеет некоторые общие аспекты регуляции. Например, увеличение секреции тиреолиберина в гипоталамусе стимулирует синтез ТТГ, что активирует синтез гормонов в щитовидной железе, а также синтез пролактина. Кроме того, эстроген служит связующим звеном между пролактином и гормонами щитовидной железы, поскольку в обоих случаях он стимулирует синтез гормонов. Таким образом, нарушения гомеостаза, которые вызывают изменения уровней тиреолиберина или эстрогенов (например, физическая нагрузка, фаза менструального цикла), приводят к изменениям в синтезе гормонов щитовидной железы и пролактина [1].

Существует и взаимосвязь между повышением тиреоидных гормонов и пролактина в ответ на физическую нагрузку. В частности, исследователями было обнаружено увеличение уровня ТТГ, свободного Т4 и свободного Т3, а также пролактина сразу после интенсивной длительной тренировки. Этот факт подтвердил предположение о том, что реакции пролактина и щитовидной железы были взаимосвязаны, а в качестве общего стимула было рассмотрено повышение ТТГ [21].

Актуальный вопрос заключается в том, как именно эти гормональные изменения связаны с физической нагрузкой. Повышение пролактина при физической нагрузке может стимулировать хемотаксис, фагоцитоз и микробицидную активность фагоцитов [1, 31]. Также иммуностимулирующие свойства пролактина проявляются в ингибировании высвобождения интерлейкина-6, обладающего провоспалительными свойствами, и в активации пролиферации Т-клеток [1, 31, 32]. Гормоны щитовидной железы связаны с модуляцией функции макрофагов во время физической нагрузки, в частности хемотаксиса и фагоцитоза [31]. Таким образом, пролактин и гормоны щитовидной железы дополняют иммуностимулирующие свойства друг друга и являются элементами адаптивно-восстановительных процессов при физической нагрузке [33].

Помимо этого, тиреоидные гормоны играют существенную роль в энергетическом метаболизме во время и после физической нагрузки, благодаря как прямому, так и косвенному воздействию на мобилизацию субстрата и активацию биохимических путей для усиления обмена аденозинтрифосфата [33]. Потенциальная роль пролактина в энергетическом метаболизме, напротив, заключается в воздействии на адипоциты и гепатоциты и подавлении липолиза, что позволяет сделать вывод о взаимодействии про-

лактина и гормонов щитовидной железы в контексте энергетического метаболизма [34].

Заключение

Исследование влияния физической активности на изменение уровней пролактина и гормонов щитовидной железы остается актуальной задачей. В то же время для получения достоверных результатов этих исследований необходимо учитывать множество параметров, как, например, воздействие на испытуемых других факторов, помимо физической нагрузки, влияющих на пролактин и гормоны щитовидной железы, а также особенности метаболизма этих гормонов.

Данные о наличии общих механизмов регуляции, а также общих точках приложения в виде энергетического метаболизма и стимуляции иммунных процессов при физической нагрузке позволяют рассматривать изменение секреции пролактина и гормонов щитовидной железы как часть адаптивно-восстановительных процессов в ответ на физическую нагрузку.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

- Ben-Jonathan N, Hugo E, Brandebourg T, et al. Focus on prolactin as a metabolic hormone. *Trends Endocrinol.* 2006;17:110-6. doi:10.1016/j.tem.2006.02.005.
- Brooks C. Molecular mechanisms of prolactin and its receptor. *Endocr Rev.* 2012;33:504-25. doi:10.1210/er.2011-1040.
- Hackney A. Stress and the neuroendocrine system: the role of exercise as a stressor and modifier of stress. *Expert Review of Endocrinology & Metabolism.* 2006;1:783-92. doi:10.1586/17446651.1.6.783.
- Galbo H. The hormonal response to exercise. *Diabetes Metab Rev.* 1986;1:385-408. doi:10.1002/dmr.5610010404.
- Daly W, Seegers C, Rubin D, et al. Relationship between stress hormones and testosterone with prolonged endurance exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2005;93:375-80. doi:10.1007/s00421-004-1223-1.
- Misra M. Neuroendocrine mechanisms in athletes. *Handb Clin Neurol.* 2014;124:373-86. doi:10.1016/B978-0-444-59602-4.00025-3.
- Brenner D, Ruan Y, Morielli A, et al. Physical activity does not alter prolactin levels in postmenopausal women: results from a dose-response randomized controlled trial. *Eur Rev Aging Phys Act.* 2017;14:10. doi:10.1186/s11556-017-0179-1.
- Hackney A, Davis H, Lane A. Exercise augments the nocturnal prolactin rise in exercise trained men. *Ther Adv Endocrinol Metab.* 2015;6:217-22. doi:10.1177/2042018815593035.
- Hackney A, Premo M, McMurray R. Influence of aerobic versus anaerobic exercise on the relationship between reproductive hormones in men. *J Sport Sci.* 1995;13:305-11. doi:10.1080/02640419508732244.
- Hackney A, Sharp R, Runyan W et al. Relationship of resting prolactin and testosterone changes in males during intensive training. *Br J Sports Med.* 1989;23:194. doi:10.1136/bjism.23.3.194.
- Sönksen P, Holt R, Böhning, W, et al. Why do endocrine profiles in elite athletes differ between sports? *Clin Diabetes Endocrinol.* 2018;4:3. doi:10.1186/s40842-017-0050-3.
- Park SH, Song M. Effects of aerobic and anaerobic exercise on spatial learning ability in hypothyroid rats: a pilot study. *J Phys Ther Sci.* 2016;28(12):3489-92. doi:10.1589/jpts.28.3489.
- Radomski M, Cross M, Buguet A. Exercise-induced hyperthermia and hormonal responses to exercise. *Can J Physiol Pharmacol.* 1998;76:547-52. doi:10.1139/cjpp-76-5-547.
- Mündel T, Hooper P, Bunn S, et al. The effects of face cooling on the prolactin response and subjective comfort during moderate passive heating in humans. *Exp Physiol.* 2006;91(6):1007-14. doi:10.1113/expphysiol.2006.034629.
- Dohi K, Kraemer W, Mastro A. Exercise increases prolactin-receptor expression on human lymphocytes. *J Appl Physiol.* 2003;94(2):518-24. doi:10.1152/japplphysiol.00004.2002.
- Hackney A, Sinning W, Bruot B. Hypothalamic-pituitary-testicular axis function in endurance-trained males. *Int J Sports Med.* 1990;11:298-303. doi:10.1055/s-2007-1024811.
- Boyden T, Pamentier R, Grosso D, et al. Prolactin responses, menstrual cycles, and body composition of women runners. *J Clin Endocrinol Metab.* 1982;54:711-4. doi:10.1210/jcem-54-4-711.
- AbuMoh'd M, Qasim S, Bataineh N, et al. A Combination of Exercise and Therapy with Cabergoline Attenuate Disturbances of Pituitary-Gonadal Hormones in Hyperprolactinemic Male Patients. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine.* 2000;9(2):35-41. doi:10.26773/mjssm.200906.
- Griffin J. The thyroid. In: *Textbook of endocrine physiology*, ed. Griffin JE, Odjedra SR. 3rd ed. New York: Oxford University;1996:260-83. ISBN: 978-0195135411.
- Hulbert AJ. Thyroid hormones and their effects: a new perspective. *Biol Rev Camb Philos Soc.* 2000;75(4):519-631. doi:10.1017/s146479310000556x.
- Hackney A, Saeidi A. The thyroid axis, prolactin, and exercise in humans. *Curr Opin Endocrinol Metab Res.* 2019;9:45-50. doi:10.1016/j.coemr.2019.06.012.
- Fortunato R, Ignácio D, Padron A, et al. The effect of acute exercise session on thyroid hormone economy in rats. *J Endocrinol.* 2008;198(2):347-53. doi:10.1677/JOE-08-0174.
- Berchold P, Berger M, Uppers HJ. Non-glucoregulatory hormones (T4, T3, rT3 and testosterone) during physical exercise in juvenile type diabetes. *Horm Metab Res.* 1978;10:269-73. doi:10.1055/s-0028-1093412.
- Premachandra B, Winder W, Hickson R, et al. Circulating reverse triiodothyronine in humans during exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1981;47(3):281-8. doi:10.1007/BF00422473.
- Ylli D, Klubo-Gwiedzinska J, Wartofsky L. Exercise and Thyroid Function. *Endocrinology of Physical Activity and Sport.* 2020;85-108. doi:10.1007/978-3-030-33376-8_6.
- Opstad K. Circadian rhythm of hormones is extinguished during prolonged physical stress, sleep and energy deficiency in young men. *Eur J Endocrinol.* 1994;131:56-66. doi:10.1530/eje.0.1310056.
- McMurray R, Eubanks T, Hackney A. Nocturnal hormonal responses to weight training exercise. *Eur J Appl Physiol.* 1995;72:121-6. doi:10.1007/BF00964126.
- Hackney A, Kallman A, Hosick K, et al. Thyroid hormonal responses to intensive interval versus steady-state endurance exercise sessions. *Hormones.* 2012;11:54-60. doi:10.1007/BF03401537.
- Deligiannis A, Karamouzis M, Kouidi E, et al. Plasma TSH, T3, T4 and cortisol responses to swimming at varying water temperatures. *Br J Sports Med.* 199;27:247-50. doi:10.1136/bjism.27.4.247.
- Zhang Z, Boelen A, Kalsbeek A. TRH Neurons and Thyroid Hormone Coordinate the Hypothalamic Response to Cold. *Eur Thyroid J.* 2018;7:279-88. doi:10.1159/000493976.
- Borges L, Dermargos A, Gray S, et al. Neutrophil Migration and Adhesion Molecule Expression after Acute High-Intensity Street Dance Exercise. *J Immunol Res.* 2018;8. doi:10.1155/2018/1684013.
- Gorvin C. The prolactin receptor: diverse and emerging roles in pathophysiology. *J Clin. Transl Endocrinol.* 2015;2:85-91. doi:10.1016/j.jcte.2015.05.001.
- Joyner M, Coyle E. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol.* 2008;586:35-44. doi:10.1113/jphysiol.2007.143834.
- Tovar S, Dieguez C. Prolactin and energy homeostasis: pathophysiological mechanisms and therapeutic considerations. *Endocrinology.* 2014;155:659-62. doi:10.1210/en.2013-2167.