Biomedical and Biopharmaceutical Research
Jornal de Investigação Biomédica e Biofarmacêutica

Biomedical Sciences / Ciências Biomédicas

About the importance of physical exercise in human physiology

Sobre a importância do exercício físico na fisiologia humana

Maria Inês Amaro Pedrosa & Luís Monteiro Rodrigues
CBIOS-UDE, Research Center for Health Science and Technologies , Universidade Lusófona &
Experimental Physiology Lab, Faculty of Pharmacy, University of Lisbon
E-mail: monteirorodrigues.dcs@ulusofona.pt

Abstract
The importance of physical activity is sometimes underestimated. A proper understanding of Exercise Physiology and its integration into exercise programs fitting everyone's needs, enables the prevention of some diseases and favours rehabilitation, while promoting health in general. Regular exercise brings multiple benefits to every individual, providing that it's suited to their specific characteristics. Physical activity enhances performance, metabolism and body constitution, both in health and disease (cardiovascular, metabolic, cancer) and enables us to minimize or to delay age-related impairment of several body functions. Thus, physical inactivity must be counteracted by promoting physical exercise in children as in adults, so they can adopt healthier lifestyles and minimize risk factors. The aim of this work is to review the fundamentals of Exercise Physiology and highlight the core points that should motivate us to fight the sedentary lifestyle and look for a better quality of life through physical activity.

Keywords: physiology, exercise, sports, health promotion, active ageing.

Resumo
A importância da actividade física é muitas vezes subestimada. A compreensão da Fisiologia do Exercício e a sua integração em programas de exercício adequados às necessidades de cada indivíduo ajudam a prevenir algumas doenças e facilitam a reabilitação, enquanto promovem a saúde em geral.
O exercício físico regular envolve múltiplos benefícios para todas as pessoas, desde que apropriado às suas características. A actividade física melhora o desempenho, o metabolismo e a constituição física, tanto no indivíduo são como na doença (cardiovascular, metabólica, cancro), e permite minimizar ou retardar a perda progressiva de funções relacionada com o envelhecimento. A inactividade deve assim ser contrariada através da promoção da actividade física quer nos mais jovens quer nos adultos, para que se adoptem estilos de vida saudáveis que minimizem os factores de risco.
O presente trabalho visa rever os fundamentos da Fisiologia do Exercício e chamar a atenção para os pontos fulcrais que devem motivar o combate ao sedentarismo e a procura de mais e melhor qualidade de vida através da actividade física.

Palavras-chave: fisiologia, exercício, desporto, promoção da saúde, envelhecimento activo.

Accepted / Aceite: 15/10/2011
Biomedical and Biopharmaceutical Research, 2011; **(8) 2**:273 -298
Electronic Edition: http://www.biomedicalandbiopharmaceuticalresearch.com

It is important to stress the impact and the continuous study of the promotion of physical activity and well-being in ageing, illness and rehabilitation. Additionally, the aim is to improve sport performance and optimise the conditioning factors such as nutrition [1].

The organisations and publications related to Exercise Physiology have been growing significantly worldwide, motivated by the research activities in the field of physical activity, in order to satisfy the needs of professionals in order that they are able to promote quality of life, health and better physical performance [2,4].

The modern lifestyle has favoured a sedentary behaviour. Technology reduces the amount of energy required to perform daily activities, namely the professional tasks, and there is an insufficient participation in physical activities during leisure time. On the other hand, feeding patterns are becoming less healthy, with caloric intake exceeding energy use, high glycaemic index, high levels of fat (especially saturated fat), excess of sodium and deficiency in fruits, vegetables and fibres. Unhealthy diets and physical inactivity are the most important risk factors for common chronic diseases [5,6,7,8].

As human beings are not adapted to this inactive lifestyle, it is important to maintain a physical activity that helps promote muscle, bone, joint and mental health and reduces the risk of early mortality and coronary disease, hypertension, cancer and diabetes [5,6,7,9]. The benefits of regular physical activity are felt at every stage of life, from childhood to old age, irrespective of race, ethnical group or the existence of chronic limitations or deficiencies [5,7,9].

In the light of all this evidence on the positive impact of physical activity on health, the aim of this work is to update the concepts on Exercise Physiology and to identify the importance of regular exercise in disease prevention and rehabilitation, and in the management of specific pathophysiological processes such as growth and ageing.

Acute and Chronic Responses to Exercise

The study of physical exercise and its impact on human physiology comprises two fundamental perspectives – one regarding the changes related to a single episode of exercise, **the acute responses**, and another regarding the effects of repeated physical exercise (training), the **chronic responses** [1] (table 3).

É de salientar o interesse e o estudo continuado do impacto da actividade física na promoção da saúde e do bem-estar, no envelhecimento, na doença e na reabilitação. Por outro lado, há o objectivo de aumentar o desempenho desportivo procurando optimizar os factores que o condicionam, como a nutrição [1].

As organizações e publicações relacionadas com a Fisiologia do Exercício cresceram bastante a nível mundial, motivadas pelas actividades de investigação no campo da actividade física e para dar resposta às necessidades dos profissionais, de forma a promoverem a qualidade de vida, a saúde e um melhor desempenho físico [2,4].

Os ritmos e padrões actuais de vida têm promovido o sedentarismo. As tecnologias reduzem a energia necessária para a realização das actividades físicas diárias, nomeadamente as profissionais, e há uma insuficiente participação em actividade física durante os tempos de lazer. Por outro lado, os padrões da alimentação são cada vez menos saudáveis, com desequilíbrio do balanço entre o aporte calórico e o seu consumo, elevado índice glicémico, elevado teor de lípidos principalmente saturados, excesso de sódio e insuficiência de frutas, vegetais e fibras. As dietas incorrectas e a inactividade física são os factores de risco com maior importância nas doenças crónicas mais comuns [5,6,7,8]

O ser humano não está adaptado ao estilo de vida inactivo, sendo importante manter actividade física para promover uma boa saúde muscular, óssea, articular e mental e reduzir os riscos de mortalidade precoce e doença coronária, hipertensão, cancro e diabetes [5,6,7,9].

Os benefícios da actividade física regular fazem-se sentir em todas as fases da vida, da infância ao envelhecimento, independentemente do grupo racial e étnico, ou da existência de limitações crónicas ou deficiências [5,7,9].

Perante todas estas evidências do impacto da actividade física na saúde, os objectivos deste trabalho são, para além da actualização dos conceitos associados à Fisiologia do Exercício, identificar a importância do exercício regular na prevenção e reabilitação da doença e no controlo de processos fisiopatológicos especiais como o crescimento e o envelhecimento.

Respostas Fisiológicas Agudas e Crónicas ao Exercício

O estudo do exercício físico e do seu impacto sobre a fisiologia humana desenvolve-se em duas perspectivas fundamentais - sobre alterações relacionadas com um episódio individual de exercício, **as respostas agudas**, e sobre os efeitos do exercício repetido no tempo (treino), as r**espostas crónicas** [1] (Tabela 3).

The neuronal impulses from the hypothalamus stimulate the adrenal medulla to release catecholamines that increase glycaemia and affect the cardiovascular and respiratory systems. The catecholamines inhibit insulin production, and the reduction of glycaemia stimulates the release of glucago, promoting the release of glucose which is needed for energy production [4,5].

The hydroelectric equilibrium is maintained by the antidiuretic hormone (ADH) and the renin-angiotensin-aldoterone system, which conserve water to maintain the plasma volume [4,5].

The rise in gonadotropic hormones, the follicle-stimulating hormone (FSH) and the luteinising hormone (LH), cause an increase in estrogens, progesterone and testosterone. Plasma levels of testosterone grow during exercise and have a direct effect on the synthesis of muscle tissue and the release of growth hormone [4].

Physical activity increases the release of the parathyroid hormone (PTH), causing a rise in the concentration of calcium in the blood, which has possible positive effects on bone mass [4].

One should expect an increase in the thyroid-stimulating hormone (TSH) during exercise due to its impact on the body metabolism, but this does not always happen. When TSH levels rise, the thyroid is stimulated to produce and release thyroxin (T4) and triiodothyronine (T3), which are involved in the regulation of the cell metabolism. Usually there is a greater renewal of these hormones rather than an increase in their concentrations.

b. Neuro-humoral chronic responses:

The magnitude of the hormone response is smaller for the trained individual than for the non-trained one for the same amount of exercise. This is due to increased sensitivity of the target tissues and a reduction of the induced stress [4]. The response is similar when the relative intensity is the same for both individuals, for instance when the exercise reaches the maximum capacity of the person, regardless of whether they are trained or not [4].

The basal levels of testosterone fall when aerobic training is maintained for several weeks. In contrast, the testosterone levels may increase when resistance training is extended producing an anabolic effect and promoting changes in neuromuscular junction which intensify strength [4].

c. Joint-muscle acute responses:

Muscular strength is the strength generated by one muscle or group of muscles and is related with the cross-cut area. The maximum muscular strength is approximately 3 to 4 kg/cm2 of cross-cut area [4,5,10]. The performance of an episode of exercise is conditioned

Os impulsos neuronais com origem no hipotálamo estimulam a medula supra-renal a libertar catecolaminas, que aumentam a glicemia e actuam nos sistemas cardiovascular e respiratório. As catecolaminas inibem a produção de insulina e a diminuição da glicemia estimula a libertação de glucagon, que promove a libertação da glucose para ser usada na produção da energia [4,5].

O equilíbrio hidroelectrolítico é mantido pela hormona antidiurética (ADH) e pelo sistema renina-angiotensina-aldosterona, que conservam água, mantendo o volume do plasma [4,5].

O aumento das hormonas gonadotrópicas, hormona folículo-estimulante (FSH) e hormona luteinizante (LH), refletem-se em aumentos de estrogénio, progesterona e testosterona. O nível plasmático de testosterona aumenta durante o exercício físico e tem acção directa sobre a síntese do tecido muscular e sobre a libertação da hormona de crescimento [4].

A actividade física aumenta a libertação da hormona paratiroideia (PTH), elevando a concentração de cálcio no sangue, podendo contribuir para efeitos positivos sobre a massa óssea [4].

Era de esperar um aumento da hormona estimulante da tiróide (TSH) durante o exercício físico, devido ao seu impacto no metabolismo corporal, mas nem sempre isto acontece. Quando aumenta, a TSH estimula a tiróide a produzir e libertar tiroxina (T4) e triiodotironina (T3) envolvidas na regulação do metabolismo de todas as células. Geralmente não há aumento das concentrações de T3 e T4, mas sim uma maior renovação destas hormonas [4,5] .

b. Respostas neuro-humorais crónicas:

Para a mesma quantidade absoluta de exercício, a magnitude da resposta hormonal é menor no indivíduo treinado do que no indivíduo não treinado, por aumento da sensibilidade dos tecidos-alvo e redução do stress induzido [4]. A resposta é semelhante quando a intensidade relativa é a mesma para ambos, como por exemplo quando o exercício físico atinge a capacidade máxima para cada um dos indivíduos, treinado ou não [4].

Os níveis basais de testosterona diminuem quando há treino aeróbico intenso continuado por várias semanas. Pelo contrário, quando há treino da resistência prolongado os níveis de testosterona podem ficar aumentados, tendo um efeito anabólico e promovendo alterações na junção neuromuscular aumentando a capacidade de produzir força [4].

c. Respostas musculo-articulares agudas:

A força muscular é a força gerada por um músculo ou grupo de músculos e está relacionada principalmente com a sua área de corte transversal. A força muscular máxima é aproximadamente 3 a 4 kg/cm2 de área de corte transversal [4,5,10]. Num episódio de exercício, o

whereas a few repetitions of high intensity exercise increase muscular strength by stimulating fast-twitch fibres. The number of capillaries irrigating each muscular fibre also increases. Neuronal adaptations are accompanied by strength gain and there is a greater synchronisation of the excitatory neuronal stimuli to the muscle [5,10].

Chronic muscle hypertrophy caused by repetitive training is due to structural modifications in the muscle – an increase in the number of muscle fibres and some rise in the size of these fibres. When training is interrupted, this inactivity leads to muscular atrophy – a decrease in the size of the muscle and muscular strength, although this can be prevented by a maintenance programme [5,10].

e. Thermoregulation:

Nearly all the energy used by the body is converted into heat. During rest the heat is mainly lost by emission, whereas during exercise evaporation is the major mechanism. Central and peripheral receptors provide information about the internal and surface temperatures, allowing the body to decrease heat production and increase heat loss to maintain the homeothermy.. Urinary loss is reduced to the minimum to compensate water elimination through sweating, [5,10].

f. Cardiovascular and respiratory acute responses:

In rest cardiac output is approximately 5 L/min for a 70 kg man. During an episode of exercise it rises about 5 fold to respond to the tissue's increasing need for oxygen and nutrients and to remove a higher amount of residues (figure 3). The increase in the cardiac output is the result of the rise in the cardiac frequency and the ejection volume. The ejection volume increases due to the better filling of the left ventricle during diastoles followed by a more vigorous contraction and a greater systolic deflation. The neurohormonal controls cause the cardiac frequency and the myocardial contraction force to increase [4,5,10]. During rest the cardiac output distribution occurs mainly in the digestive tract, liver, spleen, brain and kidneys and only 20% flows to the muscular tissue (figure 3). During extenuating exercise the majority of the cardiac output is directed towards the active muscles (figure 3). In the kidneys and splanchnic tissues the blood flow may decrease below the levels observed in rest; however, in organs in which nutrients and oxygen cannot be suppressed, such as the brain and the heart, the irrigation increases. During maximum work even blood flow from skin may be mobilised to the active muscles [4].

resistência muscular, por estimulação das fibras de contracção lenta, enquanto poucas repetições de alta intensidade aumentam a força muscular, por estimulação das fibras de contracção rápida. O número de capilares que irriga cada fibra muscular também aumenta. As adaptações neuronais acompanham os ganhos de força, há uma maior sincronização dos estímulos neuronais excitatórios ao músculo [5,10].

A hipertrofia muscular crónica, causada por treinos repetidos, deve-se a modificações estruturais no músculo – aumento do tamanho das fibras musculares individuais e algum aumento do número de fibras musculares. Quando o treino é interrompido, a inactividade provoca atrofia muscular – diminuição do tamanho e da força musculares, mas isto pode ser evitado com um programa de manutenção [5,10].

e. Termorregulação:

Quase toda a energia gasta pelo corpo humano é convertida em calor. Em repouso o calor é perdido maioritariamente por emissão, mas durante o exercício acontece essencialmente por evaporação. Receptores centrais e periféricos dão informação da temperatura interna e à superfície, permitindo diminuir a produção de calor e aumentar a sua perda, mantendo a homeotermia. Para compensar o aumento da eliminação de água pelo suor, as perdas urinárias são reduzidas ao mínino [5,10].

f. Respostas cardiovasculares e respiratórias agudas:

No repouso, o débito cardíaco é aproximadamente 5 L/min para um homem de 70 kg. Durante um episódio de exercício aumenta cerca de 5 vezes, de forma a responder ao aumento das necessidades dos tecidos de oxigénio e nutrientes necessários e de remover maior quantidade de resíduos formados (figura 3). O aumento do débito cardíaco é produto do aumento da frequência cardíaca e do volume de ejecção. O volume de ejecção aumenta devido ao melhor enchimento do ventrículo esquerdo durante a diástole, seguindo-se contracção mais vigorosa e aumento do esvaziamento sistólico. Os controlos neuro-hormonais aumentam a frequência cardíaca e a força de contracção do miocárdio [4,5,10]. A distribuição do débito cardíaco, em repouso, acontece maioritariamente no tracto digestivo, fígado, baço, cérebro e rins, e apenas cerca de 20% flui para o tecido muscular (figura 3). No exercício extenuante, a maior parte do débito cardíaco direcciona-se para os músculos activos (figura 3). Nos rins e tecidos esplâncnicos pode haver redução do fluxo sanguíneo abaixo do valor em repouso, mas em órgãos em que não pode haver suprimento de nutrientes e oxigénio, como o cérebro e o coração, a irrigação aumenta. Em esforço máximo, pode ainda ser mobilizado para os músculos activos o fluxo de sangue da pele[4].

oxygen reserve to be used when the exercise is suddenly started [4,5,10]. The rise in the pulmonary ventilation results from the increase in respiratory frequency and tidal volume. In mild to moderate exercise the key factor is the tidal volume increase, as the pulmonary perfusion rises. The elevation of the respiratory frequency becomes more important in heavy exercise [4]. When the exercise stops a recovery period takes place, characterised by a slow decrease in the respiratory centre stimulation and a metabolic, thermal and chemical reestablishment [4].

g. Cardiovascular and respiratory chronic responses:

During rest the cardiac output is similar for both trained and non-trained individuals; however, during exercise it may reach 35-40 L/min in athletes. The higher cardiac output is mostly caused by a milder increase in cardiac frequency and ejection volume, as a result of the regular exposure to exercise. The milder increase in cardiac frequency is related to the lower sympathetic activity and the higher parasympathetic activity on the heart of the trained individual. The higher ejection volume is caused by an increase in the blood volume, the expansibility and filling of the left ventricle and the myocardial contractility [4,5,10]. The trained individual has a better distribution of cardiac output, thus being able to sustain the exercise for a longer period. They also have a higher number of blood capillaries, a lower arterial pressure in rest and a lower recovery time for the cardiac frequency after the exercise [4,5,10].

For the trained individual in maximum work, the pulmonary ventilation increases as the tidal volume and the respiratory frequency increase, but these remain unchanged in rest. The oxygen diffusion rate rises as the ventilation and the pulmonary perfusion increase [5,10].

The aerobic capacity may be enhanced over the years as the training continues and is not likely to be affected by muscular strength training [5,10].

Exercise in Health Promotion and in the Prevention and Rehabilitation of Disease

It is commonly acknowledged that in order to reduce the risk of disease it is crucial to maintain healthy nutritional habits, regular physical activity, avoid the consumption of alcohol, tobacco and other drugs as well as having adequate rest and a good capacity to deal with stress. Physical exercise should be adapted to the individual's characteristics (figure 4) [5,9]. Several national and international organisations make recommendations on the levels of physical activity that should be undertaken to benefit one's health [5,7,9,11].

utilizada durante o repouso é pequena e há uma reserva de oxigénio para ser usada quando se inicia bruscamente o exercício [4,5,10]. O aumento da ventilação pulmonar resulta de aumento na frequência respiratória e no volume corrente. No exercício ligeiro a moderado, o factor principal a aumentar é o volume corrente, por aumento da perfusão pulmonar. A elevação da frequência respiratória ganha importância no exercício mais intenso [4]. Quando o exercício cessa, há um período da recuperação caracterizado pela diminuição lenta da potenciação do centro respiratório e pelo restabelecimento metabólico, térmico e químico [4].

g. Respostas cardiovasculares e respiratórias crónicas:

Em repouso, o débito cardíaco é semelhante em indivíduos treinados ou não, mas durante o exercício pode chegar aos 35-40 L/min nos atletas. O maior débito cardíaco prende-se sobretudo com um menor aumento da frequência cardíaca e aumento do volume de ejecção, desencadeados pela exposição regular ao exercício. O menor aumento da frequência cardíaca está relacionado com uma menor actividade simpática e maior actividade parassimpática sobre o coração do indivíduo treinado. O maior volume de ejecção é causado pelo aumento do volume sanguíneo, da expansibilidade e tempo de enchimento do ventrículo esquerdo e da contractilidade do miocárdio [4,5,10]. O individuo treinado tem uma melhor distribuição do débito cardíaco, podendo manter o exercício intenso durante um maior período de tempo, maior número de capilares sanguíneos, menor pressão arterial em repouso e menor tempo de recuperação da frequência cardíaca após o exercício [4,5,10].

No indivíduo treinado, em esforço máximo a ventilação pulmonar aumenta por aumento do volume corrente e da frequência respiratória, mas no repouso mantêm-se inalterados. A taxa de difusão do oxigénio aumenta com o aumento da ventilação e da perfusão pulmonar [5,10].

A capacidade aeróbica pode ser melhorada ao longo dos anos por continuação do treino e não parece ser afectada pelo treino conjunto da força muscular [5,10].

O Exercício na Promoção da Saúde e na Prevenção e Reabilitação da Doença

É do conhecimento comum que, para diminuir o risco de ocorrência de doença, é crucial manter hábitos nutricionais saudáveis, praticar actividade física regularmente, não consumir álcool, tabaco e outras drogas, descansar adequadamente e ter uma boa capacidade de lidar com o stress.

O exercício físico deve ser adequado às características de cada indivíduo (figura 4) [5,9]. Várias organizações nacionais e internacionais fazem recomendações sobre os níveis de actividade física que devem ser atingidos para benefício da saúde [5,7,9,11].