



Revista de Educação Física

Journal of Physical Education

Home page: www.revistadeeducacaofisica.com



Revisão

Review

Síndrome de *overtraining* – sintomas e prevenção: uma revisão sistemática

Overtraining Syndrome – Symptoms and Prevention: a Systematic Review

Felipe Soares Alvarenga de Macedo¹; Lilian Cristina Xavier Martins^{§1, 2} PhD

Recebido em: 15 de fevereiro de 2018. Aceito em: 20 de março de 2018.
Publicado online em: 29 de março de 2018.

Resumo

Introdução: O treinamento pode ser definido como um processo de aumento na carga de trabalho físico e períodos de descanso. Se esses períodos não forem aplicados adequadamente, os atletas podem desenvolver síndrome de excesso de treinamento (*overtraining syndrome*: OTS).

Objetivo: Realizar uma revisão sistemática da literatura acerca da OTS, abordando os principais marcadores fisiológicos, os parâmetros psicológicos relacionados e identificar estratégias para a prevenção da síndrome.

Métodos: Este estudo foi do tipo revisão integrativa. A busca foi realizada na base de dados do PubMed (U.S. National Library of Medicine), que inclui MedLine e outras bases científicas, principal fonte de consulta científica na área das ciências da saúde. A linguagem utilizada foi o inglês e, para rastrear as publicações, foram utilizados os seguintes termos: “*overtraining*” and “*markers*”; “*overtraining*” and “*psychological symptoms*”; and “*overtraining*” and “*heart rate*”.

Resultados e Discussão: Observou-se que, de um lado, alguns pesquisadores utilizaram apenas marcadores fisiológicos para tentar diagnosticar OTS. E, por outro lado, outros cientistas incluíram no diagnóstico da OTS também os sintomas de estresse psicológico e têm buscado instrumentos preditores de OTS para preveni-la. Há necessidade de melhor definição dos termos e conceitos para favorecer a comparabilidade entre os estudos.

Conclusão: Sugere-se que os treinadores, incluam no planejamento e periodização do treinamento, avaliações dos marcadores bio-psico-fisiológicos em conjunto com os marcadores fisiológicos para identificar precocemente sintomas de fadiga aguda e de ultrapassagem dos limites físicos no treinamento (*overreaching*) buscando prevenir a OTS.

Palavras-chave: síndrome de excesso de treinamento, marcadores fisiológicos, sintomas psicológicos, atletas, psicofisiologia.

Abstract

Introduction: Training can be defined as a process of increasing physical workload and rest periods. If these periods are not applied properly, athletes may develop overtraining syndrome (OTS).

Objective: To carry out a systematic review of the OTS literature, addressing the main physiological markers, related psychological parameters and identifying strategies for the prevention of the syndrome.

Methods: This study was an integrative review. The search was conducted based on PubMed (U.S. National Library of Medicine), which includes MedLine and other scientific bases, the main source of scientific advice in the

Pontos-Chave Destaque

- Parâmetros de frequência cardíaca são os marcadores fisiológicos e mais aplicáveis no dia-a-dia do treinamento para controlar a aplicação de carga de treinamento.
- Parâmetros psicológicos são fundamentais para prevenir OTS.
- Nenhum marcador fisiológico ou parâmetro psicológico isoladamente é suficiente para prevenir OTS.

§ Autor correspondente: Lilian Martins – e-mail: liblusea@hotmail.com

Afiliações:¹Escola de Educação Física do Exército (EsEFEx), Brasil; ²Instituto de Pesquisa da Capacitação Física do Exército, Brasil.

area of health sciences. The language used was English and to track the publications the following terms were used: "overtraining" and "markers"; "overtraining" and "psychological symptoms"; and "overtraining" and "heart rate".

Results and Discussion: It was observed that, on the one hand, some researchers used only physiological markers to try to diagnose OTS. And, on the other hand, other scientists have included in the diagnosis of OTS also the symptoms of psychological stress and have sought predictive instruments of OTS to prevent it. There is a need for better definition of terms and concepts to favor comparability between studies.

Conclusion: It is suggested that coaches include in the planning and periodization of the training, evaluations of the bio-psycho-physiological markers together with the physiological markers to identify early symptoms of acute fatigue and overreaching) aiming to prevent OTS.

Keywords: overtraining, physiological markers, psychological symptoms, athletes, psychophysiology.

Keypoints

- Heart rate parameters are the most applicable physiological markers for day-to-day training for controlling training load.
- Psychological parameters are fundamental to prevent OTS.
- No single physiological marker or psychological parameter alone is sufficient to prevent OTS.

Síndrome de *overtraining* – sintomas e prevenção: uma revisão sistemática

Introdução

O desempenho esportivo é um tema de grande interesse tanto para cientistas quanto para o público em geral, sendo que sua maximização é o principal objetivo. O treinamento pode ser definido como um processo de aumento na carga de trabalho físico, causando um distúrbio na homeostase do corpo: o estresse físico, que leva à fadiga(1,2). Um programa de treinamento elaborado para atletas associa períodos de treinamento com intervalos de descanso. É essa associação entre aumento de carga de treinamento com períodos adequados de descanso que pode promover melhora no desempenho(3,4).

Nesse contexto, se a periodização no plano de treino não for projetada adequadamente, levando a um período de repouso insuficiente, os atletas podem desenvolver *overtraining syndrome* (OTS) (síndrome de excesso de treinamento) ou *overreaching* (extrapolar o limite físico)(5). OTS refere-se a uma acumulação de treinamento sem a recuperação necessária e esperada durante os períodos de descanso, resultando em menor desempenho. OTS é ocasionada pelo desequilíbrio entre a intensidade do treinamento e o descanso apropriado para a recuperação(3).

De acordo com a literatura, há sintomas declarados que, em conjunto, devem ser considerados para um possível diagnóstico da OTS. Observa-se declínio no desempenho em período de treinamento intenso (mesmo após um período de repouso de uma a duas semanas), acompanhado de uma fadiga clara e constante, capacidade reduzida para realizar exercícios e sensibilidade ou dor muscular em vários locais corporais(1,2). Além dos fatores físicos, o atleta pode exibir sintomas como: depressão, insônia, irritabilidade, agitação, ansiedade excessiva, falta de concentração, perda de apetite, necessidade constante de descanso e falta de motivação para qualquer atividade(1,2). Esta síndrome pode ser frequentemente observada em atletas que não possuem um planejamento de treinamento adequado, ou seja, o volume e intensidade da carga de trabalho nas sessões de treinamento são demasiadamente elevados e o atleta não dispõe de períodos, tempo ou condições de descanso ideais para que ocorra a recuperação. Pode ocorrer com ou sem sintomas de distúrbios de humor e, após um longo período de descanso, o risco de desenvolver OTS é maior quando se enfrenta uma sobrecarga no treinamento(2). Treinadores devem se preocupar em prevenir o surgimento da OTS, pois, sua duração pode se prolongar de

semanas a meses, até que a capacidade de desempenho do atleta seja restaurada(2).

O objetivo do presente estudo foi realizar uma revisão sistemática da literatura acerca da OTS, abordando os principais marcadores fisiológicos, bem como os parâmetros psicológicos relacionados e identificar estratégias para a prevenção da síndrome, levantados em estudos recentes.

Métodos

Este estudo foi do tipo revisão integrativa. A busca foi realizada na base de dados do PubMed (*U.S. National Library of Medicine*), que inclui MedLine e outras bases científicas, principal fonte de consulta científica na área das ciências da saúde, metodologia amplamente utilizada na literatura(6). A linguagem utilizada foi o inglês e, para rastrear as publicações, foram utilizados os seguintes termos: “*overtraining*” and “*markers*”; “*overtraining*” and “*psychological symptoms*”; e “*overtraining*” and “*heart rate*”.

Os critérios de inclusão foram: 1) Estudos que descreveram sintomas físicos e psicológicos da OTS; e 2) Estudos de campo em atletas de qualquer modalidade esportiva que tivessem avaliado a intensidade do treinamento em relação aos marcadores físicos e/ou psicológicos da OTS. Os critérios de exclusão foram: 1) Estudos com data de publicação anterior a 2010; 2) Artigos em outro idioma que não o inglês ou o português; 3) Estudos em modelo animal; 4) Estudos experimentais relacionados com suplementação nutricional; 5) Estudos de revisão; e 6) Estudos que não apresentassem qualidade metodológica.

Foi utilizada a classificação das evidências considerada sob a hierarquia para questões sobre a eficácia de uma intervenção ou tratamento(7), segundo a qual, a posição mais alta indica maior força de evidência. A posição mais elevada é a revisão sistemática de ensaios clínicos randomizados (ECR) - com ou sem meta-análise, seguidos em ordem por ECR, estudos de coorte, estudos de casos-controle, séries de casos, relatos de casos e opinião de especialistas.

O presente estudo de revisão seguiu o protocolo PRISMA(8), tendo sido registrado em PROSPERO(9).

Lista de abreviaturas

OTS – *overtraining syndrome: syndrome de excesso de treinamento*

ECR – *ensaios clínicos randomizados*

OR – *overreaching: ultrapassagem dos limites físicos e psicológicos do treinamento*

FOR – *estado de overreaching funcional*

NFOR – *estado de overreaching não-funcional*

FA – *fadiga aguda*

FC – *frequência cardíaca*

FC_{rest} – *FC de repouso*

FC_{máx} – *FC máxima*

FC_{res} – *FC de reserva*

FCR – *FC de recuperação*

BF/AF – *razão entre os componentes de baixa frequência (BF) e de alta frequência dos intervalos R-R dos batimentos cardíacos*

T/C – *razão entre testosterona e cortisol*

IgM – *imunoglobulina M*

IgA – *imunoglobulina A*

ACTH – *hormônio adrenocorticotrófico*

LDH – *enzima lactato desidrogenase*

CK – *creatina quinase*

AST – *aspartato aminotransferase*

ALT – *alanina aminotransferase*

GGT – *γ-glutamyltransferase*

IL-6 – *Interleucina 6*

VO_{2máx} – *volume máximo de consumo de oxigênio*

POMS – *Profile of Mood States: Perfil de estado de humor*

RESTQ-Sport ou RESTQ-S – *Recovery-Stress Questionnaire for Athletes: questionário sobre estresse e recuperação para atletas*

TQR – *Total Quality Recovery Scale: escala de qualidade total de recuperação*

DALDA – *Demands in Athletes Questionnaire – questionário de demandas em atletas*

A análise estatística foi descritiva. Os dados foram inseridos em uma planilha eletrônica MS Excel®.

Resultados e Discussão

Inicialmente, foram selecionados, nas bases de dados online do PubMed, aplicados os termos de busca, para “*overtraining*” and “*markers*”; “*overtraining*” and “*psychological symptoms*”; and “*overtraining*” and “*heart rate*” resultaram 33 estudos, para “*overtraining*” and “*psychological symptoms*”

resultaram 21 artigos e para “*overtraining*” and “*heart rate*” foram exibidos 34 artigos. Foram retirados os estudos repetidos e, após serem aplicados os critérios de exclusão, a quantidade de artigos selecionados foi de 25 artigos, conforme o diagrama de fluxo de busca e resultados dos artigos selecionados para integrar o estudo(8) apresentado na Figura 1 apresenta.

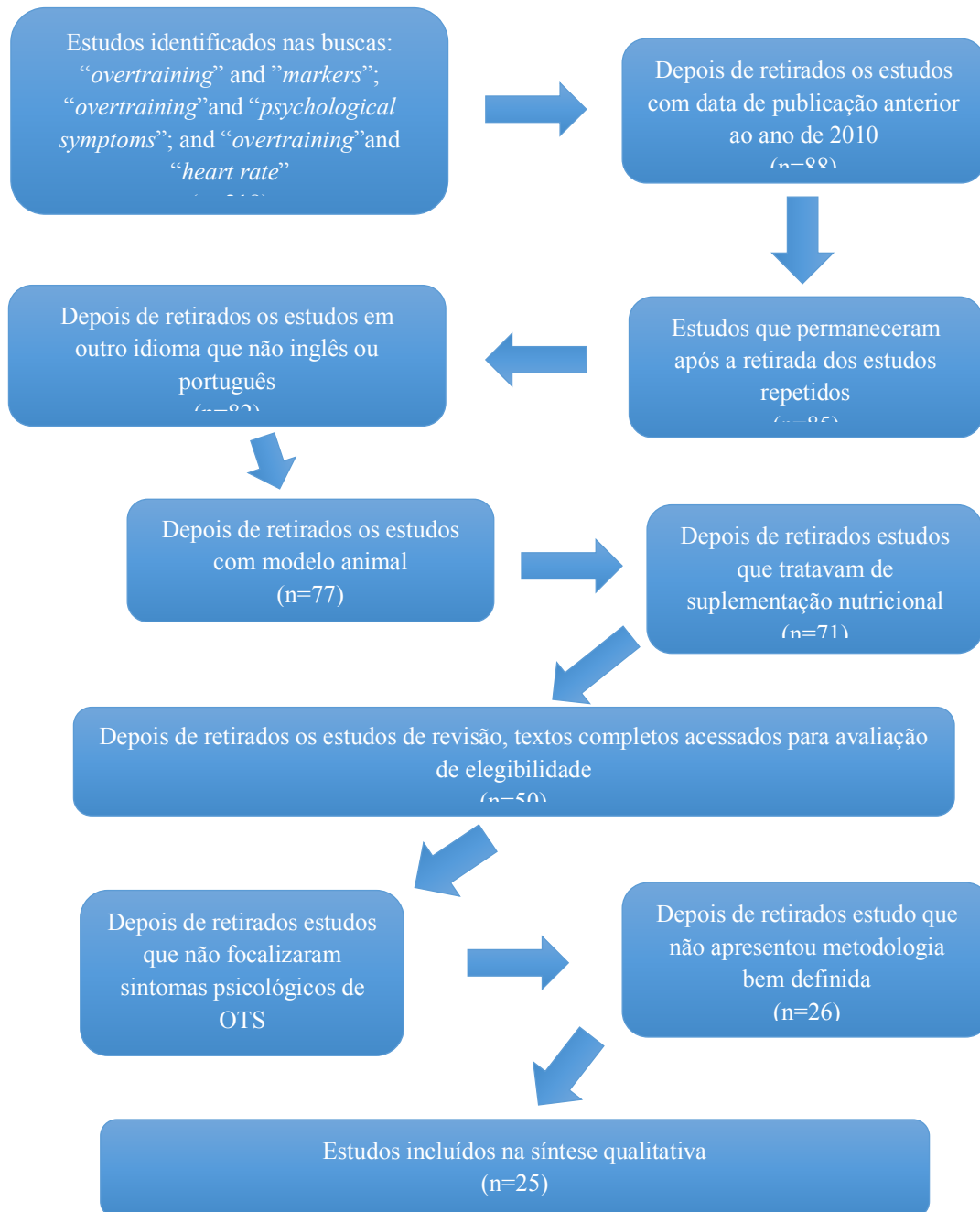


Figura 1 - Diagrama de fluxo da busca e resultados dos artigos selecionados para integrar o estudo conforme recomendação PRISMA(8).

Tabela 1 – Resultados da revisão sistemática da literatura sobre overtraining (N=25)

Autor	Ano	Marcadores Fisiológicos	Sintomas Psicológicos	N e Sexo	Tipo de Estudo	Tempo de Seguimento
Majumdar et al.(12)	2010	Testosterona, Cortisol	-	17 F	Observ.	11 semanas
Slivka et al.(13)	2010	Imunoglobulina A salivar (SIgA), Testosterona, Cortisol salivar, frequência cardíaca (FC)	Estado afetivo (POMS)	10 M	Exp.	21 dias
Meeuse et al.(14)	2010	Concentração de lactato sanguíneo, cortisol, hormônio adrenocorticotrófico (ACTH), prolactina e hormônio do crescimento	-	8 M / 2 F	Exp.	Seccional
Bresciani et al.(15)	2011	Hematócitos, Leucócitos, Concentração de hemoglobina, lactato, Cortisol salivar, Testosterona, lactato desidrogenase, Transaminases, Interleucina-6, fator de necrose tumoral- α , Mieloperoxidase, Marcadores de estresse oxidativo (plasma ou cortisol salivar)	Estado afetivo (POMS), RESTQ-Sport	9 M	Exp.	12 semanas
Tanskanen et al.(16)	2011	Volume máximo de oxigênio (VO ₂ máx), frequência cardíaca (FC)	Esforço percebido, sintomas somáticos, sentimento de cansaço físico e de sobrecarga psicológica	57 M	Observ.	8 semanas
Alaphilippe et al.(17)	2012	Creatina quinase (CK), Alanina aminotransferase (ALAT)	Sintomas de OTS (Questionário de OTS)	12 M	Observ.	9 meses

^aPara análise quanto à hierarquia das evidências; ^bDentre muitos outros parâmetros bioquímicos sanguíneos; ^cQuestionário para avaliação de *overtraining syndrome* (OTS: síndrome de excesso de treinamento) da Sociedade Francesa de Medicina Esportiva; **POMS**: *Profile of Mood States* (questionário do Perfil de Estado de Humor); **RESTQ-Sport**: *Recovery-Stress Questionnaire for Athletes* (Questionário sobre estresse e recuperação para atletas); **TQR**: *Total Quality Recovery Scale* (Escala de qualidade total de recuperação); **DALDA**: *Demands in Athletes Questionnaire* (Questionário de demandas em atletas); **TDS**: *Training Distress Scale*; e **ECSS/ACSM**: *European College of Sport Science* (ECSS) and the *American College of Sports Medicine* (ACMS)

Autor	Ano	Marcadores Fisiológicos	Sintomas Psicológicos	N e Sexo	Tipo de Estudo	Tempo de Seguimento
Heisterberg et al.(18)	2013	Hemoglobina, hematócritos, ferro, transferrina, ferritina, imunoglobulina A (IgA), imunoglobulina M (IgM), leucócitos, linfócitos	-	27 M	Observ.	6 meses
Marin et al.(19)	2013	Estresse oxidativo, creatina quinase (CK), lactato desidrogenase, aspartato aminotransferase, citoquina interleucina 6 (IL-6), TNF- α e ácido úrico, concentração de IL-1 β * e de gama-glutamil	-	10 M	Observ.	6 meses
Le Meur et al.(20)	2013	Volume máximo de oxigênio (VO ₂ máx), frequência cardíaca (FC), creatina quinase (CK), epinefrina, norepinefrina, concentração sanguínea de lactato, desempenho esportivo	Desempenho cognitivo e percepção de sensações	24 M	Observ.	7 semanas
Sartor et al.(21)	2013	Frequência cardíaca (FC), variabilidade da frequência cardíaca, variáveis hemodinâmicas, desempenho físico	Esforço percebido (Borg), questionário de queixas (Foster)	6 M	Observ.	10 semanas
Freitas et al.(22)	2014	Creatina quinase (CK)	Equilíbrio entre esforço e recuperação (RESTQ-Sport), TQR	16 M	Exp.	25 dias
Chamera et al.(23)	2014	Aspartato aminotransferase (AST), alanina aminotransferase (ALT), γ -glutamilttransferase (GGT)	-	8 M/ 8 F	Exp.	Seccional
Milanez et al.(24)	2014	Imunoglobulina A (IgA), sintomas de infecção das vias respiratórias superiores	Questionário de demandas atléticas (DALDA), Tensão e Monotonia percebidos	13 F	Observ.	5 semanas

Autor	Ano	Marcadores Fisiológicos	Sintomas Psicológicos	N e Sexo	Tipo de Estudo	Tempo de Seguimento
Grove et al.(25)	2014	Volume máximo de oxigênio (VO ₂ máx) e desempenho esportivo	Sintomas de estresse psicofisiológico (TDS)	58 M / 41 F	Exp.	3 semanas
Galliera et al.(26)	2014	<i>Serum</i> GDF-15, eritropoietina, citoquina interleucina 6 (IL-6), ST-2 e troponinas ou peptídeos natriurético (NT-proBNP)	-	30 M	Observ.	35 dias
Le Meur et al.(27)	2014	Epinefrina, norepinefrina, absorção de oxigênio (VO ₂), diferença arteriovenosa de O ₂ , débito cardíaco (Q) e pressão arterial sistólica (PAS) e diastólica (PAD)	Estado afetivo (POMS)	40 M	Exp.	9 semanas
Tian et al.(11)	2015	Creatina quinase (CK), hemoglobina, testosterona e cortisol	Incapacidade de manter o desempenho técnico/atlético (observado pelos treinadores)	114 F	Observ.	8 anos
Decroix et al.(10)	2016	Frequência cardíaca máxima, média de potência de trabalho e tempo de reação (desempenho)	Estado afetivo (POMS) e Desempenho cognitivo (STROOP)	9 F	Observ.	8 dias
Arakawa et al.(28)	2016	Glóbulos vermelhos (hemácias), hematócrito (Ht), plaquetas, hemoglobina (Hb), glóbulos brancos, ferritina, Creatina quinase (CK), LDH, AST, FFAs, leucócitos, IL-6 e adrenalina e noradrenalina, dopamina e triglicérides (TG)	-	25 M	Observ.	Seccional
Le Meur et al.(29)	2017	Frequência cardíaca de recuperação	Esforço percebido (Borg)	20 M	Exp.	6 semanas

Autor	Ano	Marcadores Fisiológicos	Sintomas Psicológicos	N e Sexo	Tipo de Estudo	Tempo de Seguimento
Ten Haaf et al.(30)	2017	Frequência cardíaca de repouso, temperatura corporal e desempenho.	Estado afetivo, bem-estar mental e físico, e percepção de carga de treinamento	19 M / 11 F	Observ.	48 dias
Susta et al.(31)	2017	Contagem de glóbulos vermelhos e de reticulócitos, concentração de hemoglobina e hematócrito, variabilidade da frequência cardíaca	Diagnose de OTS (ECSS/ACSM) ECSMM)	14 M / 20 F	Exp.	4 semanas
Lombardi et al.(32)	2017	<i>Serum</i> de vitamina D, cortisol, testosterona, creatina quinase (CK)	-	167 M	Observ.	Um ano
Joro et al.(33)	2017	Citoquinas IL-6, IL-1 β e IL-10, TNF- α , o hormônio leptina e IGF-1 (fator de crescimento da insulina)	-	10 M / 7 F	Exp.	12 meses
Nicoll et al.(34)	2018	<i>Serum</i> hormônio estimulante da tireoide (TSH), tiroxina (T4), and triiodotironina (T3), medidas antropométricas, perfil sanguíneo, desempenho atlético, capacidade aeróbica, registro da dieta nutricional.	Percepção de fadiga	16 F	Observ.	15 semanas

^aPara análise quanto à hierarquia das evidências; ^bDentre muitos outros parâmetros bioquímicos sanguíneos; ^cQuestionário para avaliação de *overtraining syndrome* (OTS: síndrome de excesso de treinamento) da Sociedade Francesa de Medicina Esportiva; **POMS**: *Profile of Mood States* (questionário do Perfil de Estado de Humor); **RESTQ-Sport**: *Recovery-Stress Questionnaire for Athletes* (Questionário sobre estresse e recuperação para atletas); **TQR**: *Total Quality Recovery Scale* (Escala de qualidade total de recuperação); **DALDA**: *Demands in Athletes Questionnaire* (Questionário de demandas em atletas); **TDS**: *Training Distress Scale*; e **ECSS/ACSM**: *European College of Sport Science* (ECSS) and the *American College of Sports Medicine* (ACMS)

Dos 25 estudos que foram incluídos no presente trabalho, cinco (20,0%) eram de tipo seccional. Os demais foram estudos longitudinais, com o período de acompanhamento variando de oito dias(10) a oito anos(11). Dezesete (65,3%) estudos eram de desenho observacional e, quanto às variáveis investigadas, 15 (60%) estudos buscando relacionar marcadores fisiológicos com sintomas psicológicos de OTS (Tabela 1).

A Tabela 1 mostra os estudos revisados nesse trabalho, indicando quais os marcadores fisiológicos e os marcadores psicológicos utilizados pelos autores em suas pesquisas, bem como o ano de publicação do trabalho.

Aspectos conceituais

Duas das principais questões em pesquisa científica são a definição conceitual de componentes do modelo teórico e a terminologia. Nesse sentido, observa-se que, embora sejam semelhantes, *overtraining syndrome* (OTS) e *overreaching* (OR) tratam-se de constructos distintos e que, por vezes, os textos não se referem a estes de forma clara e precisa.

Segundo o consenso conjunto do *European College of Sport Science* e do *American College of Sports Medicine*(2), OR é a situação em que se ultrapassam os limites de carga de treinamento físico, levando a sintomas indicativos do desenvolvimento de OTS, em outras palavras, uma condição de pré-OTS. Assim, OR refere-se à condição de acúmulo de estresse de treinamento e/ou de outros tipos de estresse resultando em decréscimo, de curto prazo, na capacidade de desempenho.

O indivíduo pode apresentar ou não sinais e sintomas fisiológicos e psicológicos relacionados à má adaptação ao treinamento e a restauração da capacidade de desempenho pode levar de alguns dias a várias semanas(2). Por outro lado, OTS é o acúmulo de estresse, seja de treinamento e/ou de outros tipos de estresse e que resulta em diminuição na capacidade de desempenho por longo período, podendo apresentar-se com ou sem sinais e sintomas fisiológicos e psicológicos relacionados à má adaptação ao treinamento e o reestabelecimento da capacidade de

desempenho pode levar várias semanas ou até meses(2).

O estado de OR divide-se em funcional OR (FOR) e não-funcional OR (NFOR). Há ainda o conceito de fadiga aguda (FA). FA e FOR estão incluídos no processo de estímulo-adaptação à sobrecarga no treinamento físico-esportivo, como parte do *continuum* fadiga-aptidão física relacionado à melhora no desempenho(30,35,36). Todavia, há diferenças fisiológicas entre FA e FOR, sendo este último um estado que deve alertar o treinador para prevenir o NFOR e OTS. A Figura 2 apresenta o diagrama do continuum de adaptação ao aumento da carga de treinamento e evolução para OTS.

Em relação ao processo de adaptação ao treinamento físico, a teoria da supercompensação estabelece que o efeito imediato do treinamento físico é o resultado da depleção de certas substâncias químicas seguida de um efeito de supercompensação(37). Em atletas com FA o efeito da supercompensação no desempenho é menor do que em atletas FOR(35,36) e estes últimos apresentam mais distúrbios do sono e maior incidência de doenças(2,38). Além disso, a situação FOR precede as situações de NFOR ou OTS, nas quais ocorrem sintomas de estresse psicológico e/ou perturbações endócrinas(2,38) (Figura 2).

Os pesquisadores do tema, devem estar atentos aos conceitos e terminologias para que o modelo teórico fique claro e precisamente delineado.

Marcadores fisiológicos

Frequência cardíaca

Um dos principais métodos diretos para se avaliar fadiga em relação à prática de exercícios com carga de trabalho é a frequência cardíaca e a literatura mostra que sua aferição permanece sendo um dos métodos mais aplicáveis. Além de se tratar de método não invasivo, é acessível e de fácil mensuração no dia-a-dia do treinamento físico relacionado à carga de trabalho. Existem vários parâmetros distintos da FC que podem ser utilizados nesse monitoramento: FC de repouso, FC máxima, FC de reserva, FC de recuperação e variabilidade cardíaca.

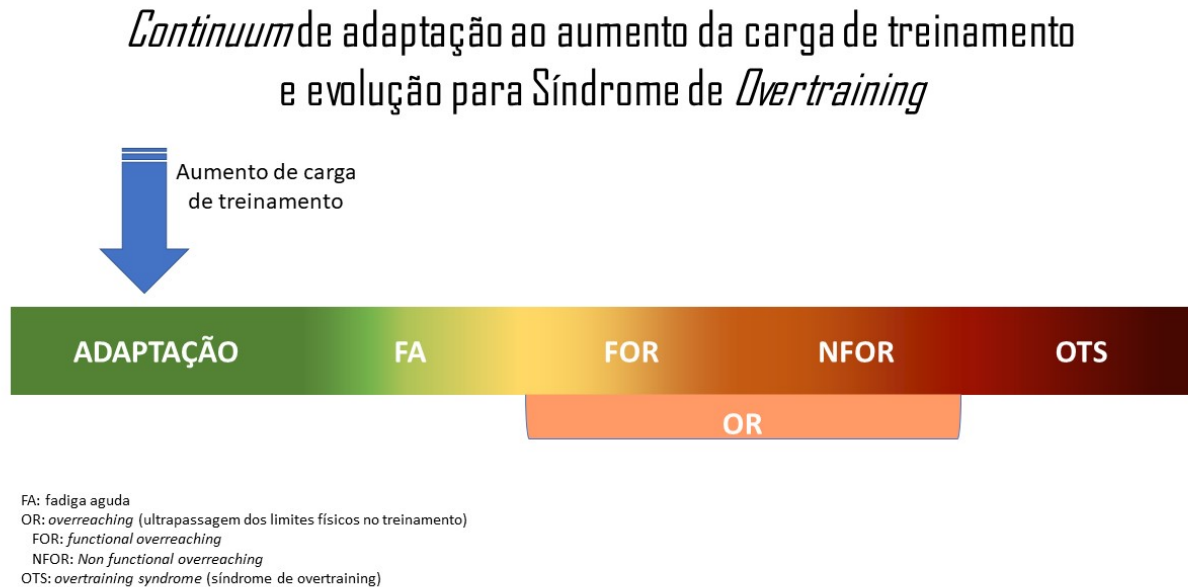


Figura 2 – *Continuum* de adaptação ao aumento da carga de treinamento e evolução para Síndrome de *Overtraining*

Alguns marcadores objetivos são mais relevantes do que outros, dentre os quais: a menor frequência cardíaca de repouso (FC_{rest}) (menor medida observada em repouso); a frequência cardíaca de reserva (FC_{res}) – que é calculada pela seguinte fórmula: $FC_{res} = FC_{máx} - FC_{rest}$ (39); e a variabilidade da frequência cardíaca durante os dias de repouso(40). O método para monitorar a carga de trabalho utilizando os parâmetros da FC, de acordo com a literatura(40,41), inclui os seguintes procedimentos: 1) Em jejum, pela manhã, na posição deitado, observar a FC_{rest} durante 10 minutos; e 2) FC_{res} .

O estudo observacional de Ten Haaf et al.(30) conduzido em ciclistas, não encontrou diferenças estatisticamente significativas na FC_{rest} em atletas com FA e com FOR, indicando que este marcador, isoladamente, não distingue FA de FOR.

A FC de recuperação (FCR) mais rápida é um indicador de adaptação ao treinamento. Estudo experimental recente, que examinou este marcador em contexto de estado de fadiga

e de fase de treinamento. Os resultados mostraram que a medida de FCR, após o exercício submáximo pode ser mais discriminante do que a realizada após o exercício máximo para monitorar FOR(29). Le Meur et al.(29) recomendaram a adoção da prática de avaliação regular da FCR após o exercício submáximo (por exemplo, aquecimento) para monitorar as respostas adaptativas dos atletas ao treinamento.

Outro parâmetro da FC é a variabilidade da frequência cardíaca de repouso, que utiliza os intervalos R-R normais dos batimentos cardíacos. Ela pode ser calculada pela razão dos componentes de baixa frequência e de alta frequência (BF/AF)(42), podendo ser acessada por frequencímetros(43). Recomenda-se, especialmente, que seja tomada nos dias de repouso, durante 5 minutos imediatamente após o despertar(40,41). Uma razão BF/AF maior que 4 é interpretada como um sintoma de OTS(44). Adicionalmente, variações na FC durante o dia podem ser um alerta para OR(45).

Atletas com OTS apresentam progressão do desequilíbrio autonômico cardíaco, o que implica em mudanças na variabilidade da frequência cardíaca. Le Meur et al.(20) explicam que, embora os mecanismos fisiológicos subjacentes à OR/OTS ainda não estejam claros, a diminuição concomitante da frequência cardíaca e da concentração de lactato no sangue indica perturbações do sistema nervoso autônomo como um mecanismo subjacente à gênese da OR Assim, um decréscimo na variabilidade da frequência cardíaca indica OTS ou exaustão(46,47). A variabilidade da FC é uma medida objetiva que pode fornecer informações úteis no monitoramento da aplicação de carga de trabalho em atletas(48), auxiliando na prevenção de OR e OTS, para atletas de distintas modalidades esportivas, sejam elas jogos coletivos, esportes de *endurance* e, ainda, ginástica(20,21,40).

Semelhantemente, em atividades físicas de caráter militar, a FC, também, pode ser utilizada para monitorar a carga de trabalho. Tanskanen et al.(16) acompanharam o treinamento físico básico na formação de recrutas finlandeses e concluíram que, após as oito semanas de atividades – de alta intensidade, houve aumento na FC máxima, sendo que 33% dos recrutas apresentaram sintomas (fisiológicos e psicológicos) de OR. Os autores recomendaram que ao término do curso básico, os recrutas passassem por um período de recuperação para prevenir OR e OTS.

Susta et al.(31) apresentaram uma proposta de treinamento intermitente de hipóxia e hiperóxia combinado com exercícios leves a ser aplicado como uma intervenção para facilitar que os atletas com OTS restaurassem seu nível de desempenho habitual. No estudo piloto, a análise da variabilidade da frequência cardíaca revelou melhora do índice simpato-parassimpático (baixa frequência / alta frequência). Outros estudos deverão ser conduzidos para confirmar estes resultados.

Hormonais: cortisol e testosterona

De acordo com a atividade física do organismo ocorrem variações de diversos hormônios devido ao estímulo do eixo hipotálamo-pituitário-adrenal(49), responsável por seu controle. Os hormônios mais

frequentemente investigados em relação ao treinamento físico foram o cortisol e a testosterona. Dentre os 25 estudos selecionados para integrar este estudo, cinco (19,23%) pesquisaram estes dois hormônios e sugeriram que alterações nestes se relacionam à carga de treinamento e podem ser sugestivas de um possível diagnóstico da OTS.

O cortisol é o principal hormônio glicocorticoide que capacita o organismo a se adaptar a mudanças externas e ao estresse. Suas concentrações aumentam durante o exercício evidenciando o catabolismo(50) e níveis elevados de cortisol persistentes por longos períodos indicam possível quadro de OTS(51). Meeusen et al. (14) observaram que em atletas com OTS, as concentrações de cortisol apresentaram-se mais altas do que em atletas NFOR, embora a sensibilidade da medida tenha se apresentado baixa. De modo semelhante, o cortisol mostrou baixa especificidade para detectar NFOR e OTS entre lutadoras de nível mundial na China(11).

A testosterona é um hormônio esteroide, que é secretado principalmente nos testículos dos homens e nos ovários das mulheres e, ainda, pequenas quantidades são secretadas pelas glândulas suprarrenais. Este hormônio desempenha papel fundamental no metabolismo das proteínas e dos carboidratos, sendo essencial para o crescimento e desenvolvimento(50). Os principais efeitos anabólicos da testosterona são a retenção de proteína e de glicogênio muscular e hipertrofia muscular durante o treinamento de força(50). Níveis diminuídos de testosterona, estão relacionados à ocorrência de OTS(51).

A razão entre as concentrações plasmáticas de testosterona e cortisol, e a razão testosterona/cortisol (T/C), tem sido utilizada na avaliação do treinamento e na predição da capacidade de desempenho(51,52), tendo sido utilizada como uma medida do balanço anabólico e catabólico(53), sendo que uma diminuição de 30% sugere OTS(52). Considera-se esse índice para avaliar o estado de anabolismo, que diminui quando o resultado da razão é alto, sendo que uma única sessão de exercício induz alterações transitórias no balanço anabólico-catabólico, dependendo da intensidade e duração das sessões. Exercícios repetidos de alta carga de trabalho em

endurance, sem um período de recuperação suficiente, pode causar uma perturbação persistente no equilíbrio(54).

A análise da razão T/C é possível com amostras salivares, o que facilita a coleta e diminui o desconforto extra, que representam as técnicas invasivas de coleta de sangue, fator indesejável para atletas de alto rendimento. Dentre os estudos integrantes desta revisão, dois utilizaram amostras salivares e três utilizaram amostras sanguíneas. O estudo de Majumdar et al.(12), observou uma temporada de treinamento da equipe nacional de nadadores de elite e concluiu que atletas com menores níveis de cortisol e níveis mais altos de testosterona e de razão T/C, apresentaram desempenho maior, diferença estatisticamente significativa.

Slivka et al.(13), em estudo experimental longitudinal (21 dias), demonstraram que indivíduos que apresentavam dois ou mais sintomas concomitantes de OTS (testosterona diminuída, elevados níveis de cortisol e de imunoglobulina A), exibiram diminuição no volume máximo de oxigênio consumido ($VO_{2máx}$) e na média da carga de trabalho. Todavia, não se observou decréscimo no desempenho final. Destaca-se que apesar da diminuição da capacidade aeróbica os atletas mantiveram seu desempenho, isto é, não foi encontrada diferença estatisticamente significativa no desempenho quanto aos níveis de cortisol, testosterona e T/C (salivares).

Por outro lado, Bresciani et al.(15), em estudo experimental utilizando protocolo de incremento de intensidade, com seguimento de 12 semanas, não encontraram significância estatística na alterações hormonais de testosterona e/ou cortisol, em amostras sanguíneas em relação aos parâmetros psicológicos de monitoramento da adaptação à carga de treinamento.

Um estudo examinou a relação dos hormônios testosterona e cortisol com vitamina D. A vitamina D é muito importante, pois, trata-se de um hormônio que controla a concentração plasmática de cálcio e de fosfato, induzindo modificações metabólicas em vários tecidos (intestinal, renal e ósseo) para aumentar as concentrações plasmáticas de cálcio e fosfato(32). Lombardi et al.(32) examinaram a relação do cortisol e da

testosterona com a vitamina D (calcitrol) em atletas de futebol e concluíram que as relações de cortisol, testosterona e da razão T/C com vitamina D foram significativas, embora fracas.

Os resultados ainda são controversos quanto à relação dos hormônios cortisol e testosterona e da razão T/C com sintomas de OR/OTS e, ainda, em relação ao desempenho atlético. Hayes et al.(55) em estudo de revisão sobre o tema, concluíram que há necessidade de mais estudos experimentais do tipo ensaio clínico randomizado e de uma metodologia padronizada para a medição de hormônios salivares, a fim de melhor determinar os efeitos do exercício em relação à modalidade esportiva. Nesse sentido, um estudo experimental concluiu que existe distinção entre diferença estatística significativa e a relevância biológica nas mudanças de cortisol e testosterona salivares, apontando que é necessária uma grande magnitude de mudança para que seja biologicamente significativa. Os autores recomendam que estudos sobre esses marcadores, coletados de forma salivar, considerem e avaliem a diferença crítica entre a significância estatística e a relevância biológica de quaisquer alterações observadas(56).

Imunológicos e hematológicos

As imunoglobulinas compõem um grupo heterogêneo de proteínas do sistema imunológico, todas são constituídas de quatro cadeias polipeptídicas(57). A Imunoglobulina A (IgA) é a primeira linha de defesa do sistema imunológico contra agentes ambientais prejudiciais, pois, apresenta-se predominantemente nas membranas mucosas, e um aumento em seus níveis está associado à prática de atividade física de intensidade moderada. Entretanto, exercícios de longa duração e alta intensidade estão associados a imunossupressão(57,58).

Slivka et al.(13), em experimento incremental de intensidade, com duração de 21 dias, em ciclistas, analisaram quantidades de IgA salivar, e não encontraram associação com o desempenho de nenhum dos outros marcadores do OR/OTS estudados. Bresciani et al.(15), também em estudo experimental (nove semanas) não encontraram associação das alterações hematológicas (hematócritos,

leucócitos e concentração de hemoglobina) do sistema imunológico com aumentos na carga de intensidade do treinamento.

Por outro lado, Heisterberg et al.(18), em estudo observacional, com seguimento de seis meses, conduzido em jogadores profissionais de futebol, observou que as amostras de sangue revelaram mudanças significativas de padrão, conforme aumentava a intensidade do treinamento. Os marcadores imunológicos e hematológicos analisados foram: IgA, Imunoglobulina M (IgM), concentração de hemoglobina, hematócritos, ferro, transferrina, ferritina, leucócitos e linfócitos. À medida que houve incremento na carga do treinamento, houve queda nos níveis de hemoglobina e aumento nos hematócritos. O ferro e a transferrina permaneceram estáveis ao longo das semanas de treino, tendo a transferrina apresentado pequena queda apenas no final das semanas. IgA e IgM exibiram aumento no início e no final do período de treinamento observado. Leucócitos e linfócitos apresentaram queda com o aumento das cargas de treino ao longo das semanas. Os autores analisaram os atletas em diversas fases do período de treinamento e apontaram que especial atenção deve ser dada ao final da fase de preparação e ao final do período competitivo, pois, os parâmetros sanguíneos indicaram que, nestes pontos do tempo, os jogadores estão sob tensão física excessiva e estão sob risco aumentado de apresentar OTS. Em concordância com estes achados, Milanez et al. (23), em estudo observacional com seguimento de 5 semanas, encontrou diminuição nos níveis de IgA com o aumento das cargas de trabalho. O autor conclui em seu trabalho que é válida a observação das alterações dos níveis de IgA (salivar) para a prevenção de um possível quadro de OTS.

Estudos prévios demonstraram que exercícios intensos e longos enfraquecem o sistema imunológico, enquanto que as sessões curtas e de intensidade moderada promovem melhora neste sistema(57,59). Entretanto, dentre os artigos selecionados para esta revisão, houve resultados diversos, e a discrepância observada pode estar relacionada ao tipo de estudo. Enquanto os observacionais encontraram alterações apontadas na literatura como existentes em relação ao aumento da

carga no treinamento, os estudos experimentais não exibiram o mesmo efeito. Importante destacar que os estudos observacionais foram conduzidos durante a temporada normal de treinamento de atletas, fato que por si indica maior precisão dos achados em relação a fenômenos que ocorrem na vida cotidiana desses indivíduos. Nesse sentido, mais estudos que investiguem as alterações imunológicas, especialmente IgA salivar, relacionadas ao treinamento de alto rendimento, com desenho observacional longitudinal devem ser realizados.

Brooks e Carter(60) explicam, em estudo de revisão, que há evidências de uma resposta adrenal reduzida ao hormônio adrenocortical no estágio de OR e que essa resposta reduzida é inicialmente compensada por uma resposta aumentada de hormônio adrenocortical hipofisário. Entretanto, se o atleta estiver em OR ou em estágio inicial de OTS, essa compensação não acontece mais, e a resposta liberação de cortisol diminui. Essa condição é a OTS do tipo Addison.

No presente estudo, apenas um artigo investigou o hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) e concluiu que as reações de ACTH foram muito mais altas em atletas NFOR em comparação com OTS, os quais, em situação de repouso, já apresentavam concentrações elevadas de ACTH; a sensibilidade para fazer a distinção entre ambos foi considerada boa, indicando que este hormônio pode ser útil como marcador fisiológico de OTS(14). Os autores examinaram, ainda, os hormônios prolactina e o hormônio do crescimento, mas apenas o ACTH exibiu sensibilidade para distinguir NFOR de OTS.

Os hormônios tireoidianos foram examinados em relação ao desempenho e à percepção de fadiga em corredoras de *endurance* por Nicoll et al.(34). Os resultados mostraram que as concentrações dos hormônios tireoidianos sofreram alterações de forma muito lenta para serem utilizadas como marcadores preditores de OTS, todavia, estavam associadas ao declínio no desempenho.

Lactato

O produto da utilização da glicose na produção de trabalho muscular, processo de

glicólise, é o piruvato (ácido pirúvico), que é convertido em lactato (ácido láctico) pela enzima lactato desidrogenase (LDH)(50). A curva de lactato é uma das medidas fisiológicas mais reportadas na literatura(20). Cinco dos estudos (19,2%) participantes desta revisão examinaram o lactato em relação a OTS. Um estudo apontou que as concentrações de LDH aumentaram logo após uma sessão de exercício intenso e outro aumento ocorreu após duas horas ou três horas, dependendo da modalidade do exercício(61,62). Em atletas de *endurance* e de resistência, os que apresentam OTS exibem concentração máxima de lactato sanguíneo diminuída(14,62,63). Meeusen et al.(14) demonstraram que atletas com OTS apresentaram concentrações sanguíneas de lactato mais baixas do que atletas com NFOR, não conseguindo atingir o nível máximo: acima de 8 mmol l⁻¹. Todavia, os autores não encontraram sensibilidade suficiente para, utilizando este marcador, distinguir NFOR de OTS. Na mesma direção, após uma temporada de handebol, os atletas apresentaram diminuição da enzima LDH, relacionada à carga de trabalho a que foram submetidos(20). Os autores enfatizam que a combinação dos marcadores alterações na FC e na concentração de lactato sanguíneo, após um período de treinamento extenuante, pode se constituir em um índice útil para a detecção rotineira de OR

Outros marcadores fisiológicos bioquímicos

A prática regular de exercícios pode promover os sistemas imunológico e antioxidante, porém, o treinamento de alta intensidade imposto aos atletas de elite podem levar à OTS, estando associada ao estresse oxidativo(64). O estresse oxidativo reduz o desempenho muscular devido à fadiga e às microlesões musculares. Biomarcadores de inflamação e de lesão muscular se modificam com a carga de treinamento(65). Alguns estudos investigaram alterações da creatina quinase (CK), citocinas e de outras enzimas como a aspartato aminotransferase (AST), alanina aminotransferase (ALT) e γ -glutamiltransferase (GGT) durante o treinamento de diferentes modalidades esportivas. Dentre esses, um dos principais indicadores bioquímicos de estresse oxidativo é a CK. Trata-se de uma enzima, encontrada

predominantemente nos músculos, que atua na produção de energia transformando a creatina-fosfato (ou fosfocreatina) em creatina mais uma molécula de fosfato, a que se unirá à adenosina-difosfato (ADP), passando a ser ATP. Portanto, a CK está envolvida com a manutenção do suprimento de energia(50). Por outro lado, a CK é liberada na circulação quando ocorrem durante lesões musculares, neste caso, estando presente no sangue e na urina(66). Sete (26,9%) estudos avaliaram este indicador de danos ao aparelho músculo tendíneo e todos encontraram associação linear da intensificação da carga de treinamento com o aumento dos níveis deste marcador bioquímico, indicando que esta é uma provável estratégia do controle da carga no desenvolvimento do plano de treino, em suas diferentes fases(11,17,22,28,32,67).

As citocinas são polipeptídeos ou glicoproteínas extracelulares hidrossolúveis. Existe uma variedade de citocinas, sendo produzidas por diversos tipos de células do sistema imunológico através da ativação de proteinoquinas, sobretudo quando há uma lesão. Sua atuação influencia diversos processos celulares imunológicos incluindo a diferenciação, a atividade, a proliferação e a sobrevivência dessas células. Além disso, regulam a produção e a atividade de outras citocinas, as quais podem aumentar (pró-inflamatórias) ou atenuar (anti-inflamatórias) a resposta inflamatória(68). Dentre as citocinas que possuem ação inflamatória está a Interleucina 6 (Il-6), uma das mais frequentemente analisadas em estudos relacionados ao treinamento físico. Os valores de pico da Il-6 aparecem ao final de uma sessão de exercício físico intenso (ou em poucas horas) e depois diminui rapidamente atingindo novamente os níveis basais(69). Dezenove por cento dos estudos incluídos nesta revisão examinaram os efeitos das modificações na carga de trabalho durante a preparação física de atletas sobre a Il-6, entre outras interleucinas. Dois estudos, um experimental e outro observacional longitudinal, não encontraram associação estatisticamente significativa, indicando que a intensificação do treinamento não representou incremento na resposta inflamatória(15,19,26). Entretanto, outros estudos sugeriram que elevações em Il-6 induzidas pelo exercício

físico associam-se à melhora no desempenho(70). Nesse sentido, Arakawa et al.(28) encontraram que as alterações em Il-6 correspondiam às fases do treinamento. Joro et al.(33) concluíram a acentuação das respostas de Il-6 ao exercício agudo pareceu estar associada à progressão da recuperação da OTS.

Outros marcadores fisiológicos, também, têm sido, investigados. Chamera et al.(23) sugeriram a utilização de marcadores referentes ao diagnóstico do perfil enzimático do fígado: AST, ALT e GGT, como parâmetros fisiológicos preditores precoces de lesões relacionadas à carga de treinamento. Entretanto, destacam que para a utilização de parâmetros tão sensíveis, é necessária uma estreita e honesta cooperação, especialmente em relação a qualquer suplemento dietético de álcool ou drogas, e outros, entre atleta e instrutor. De outra forma, torna-se impossível a obtenção de dados confiáveis e sua correta interpretação.

De modo geral, todos os estudos que examinaram o perfil do plasma sanguíneo, apontaram que os fatores bioquímicos se modificaram em razão dos períodos de treinamento mais intensos e de competições, demonstrando que houve adaptações significativas para proteger o organismo do estresse oxidativo e de lesões musculares. Nesse sentido, o nível da liberação das enzimas plasmáticas adequou-se de acordo com a quantificação da intensidade do treinamento, representando ser bons marcadores fisiológicos para monitoramento da carga de treinamento, conseqüentemente, contribuindo para a prevenção de OTS. Ressalta-se que os resultados se referem a investigações em atletas de diversas e distintas modalidades esportivas e, independente da modalidade ou do sexo dos participantes, houve elevação das enzimas no plasma sanguíneo à medida que a intensidade dos treinamentos aumentava.

Volume máximo de consumo de oxigênio (VO_{2máx})

Slivka et al.(13) demonstraram que indivíduos que apresentavam dois ou mais sintomas concomitantes de OTS (testosterona diminuída, elevados de cortisol e de imunoglobulina A), exibiram diminuição no VO_{2máx}.

Heisterberg et al.(18), em estudo conduzido em atletas de futebol, mostraram que houve diminuição do VO_{2máx} no final da temporada.

O estudo de Le Meur et al.(20) demonstrou que atletas com OR tiveram uma diminuição no VO_{2máx}. Estes resultados foram novamente observados por Le Meur et al.(27), explicando parte do baixo desempenho observado em atletas FOR.

Parâmetros psicológicos e interação com marcadores fisiológicos

Diversos sintomas psicológicos podem estar associados ao aparecimento de OTS(3). Meeusen et al.(2) afirmam que uma queda abrupta no desempenho está potencialmente está associada a fatores psicológicos. Os principais sintomas psicológicos relacionados à OTS são: depressão, distúrbios do sono, fadiga mental excessiva, problemas sociais de relacionamento, raiva, tensão, confusão mental, falta de confiança, sensibilidade ao estresse, diminuição da coordenação, da capacidade de concentração, da autoestima e da autoeficácia(3,51,62). Além disso, o estresse psicológico associado ao treinamento e competição de alto rendimento pode ser um fator aditivo aos efeitos do exercício de alta intensidade sobre a função imunológica de atletas(58). Nessa perspectiva, no âmbito do treinamento esportivo de alto rendimento, é fundamental estudar a interação entre os marcadores fisiológicos de monitoramento quanto à carga de treinamento e aspectos psicológicos dos atletas que, por um lado, em um cenário de condições favoráveis, podem promover o desejado ótimo desempenho e, por outro, podem não somente diminuir o desempenho atlético, como afetar sua saúde e qualidade de vida.

Dos estudos incluídos neste trabalho, 60% procurou relacionar fatores psicológicos com marcadores fisiológicos, sendo que todos encontraram associações estatisticamente significativas, em relação à intensificação do treinamento físico; ainda que utilizando distintos instrumentos para a avaliação psicológica. Os instrumentos para avaliação psicológica foram: o POMS – *Profile of Mood States* (Perfil de estado de humor)(10,13,15,27), o RESTQ-Sport – *Recovery-Stress Questionnaire for Athletes*

(Questionário sobre estresse e recuperação para atletas)(15), Questionário para avaliação de síndrome de excesso de treinamento (OTS) da Sociedade Francesa de Medicina Esportiva(17,22); TQR – *Total Quality Recovery Scale* (Escala de qualidade total de recuperação)(22), DALDA – *Demands in Athletes Questionnaire* – (Questionário de demandas em atletas)(24), Percepção subjetiva de esforço(16,21,22,29), TDS: *Training Distress Scale*(25); e Questionário de OTS do ECSS/ACSM: *European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine*(17,31). Além desses, os estudos avaliaram outros parâmetros psicológicos: desempenho cognitivo, percepção de sensações, percepção de tensão e de monotonia, sintomas somáticos, sentimento de cansaço e de sobrecarga psicológica, percepção de bem-estar mental e físico e percepção de carga de treinamento.

Dentre os instrumentos mais utilizados, na literatura, para avaliar aspectos psicológicos de atletas estão o POMS e o RESTQ-S. O POMS avalia os estados de humor em cinco dimensões: tensão, depressão, raiva, fadiga, vigor e confusão (MCNAIR et al, 1971). O RESTQ-S procura examinar o equilíbrio entre estresse e recuperação, buscando integrar percepções tanto em relação ao estado físico quanto ao estado psicológico. Este instrumento foi desenvolvido especificamente para aplicação em atletas(71).

Em estudo experimental de aplicação de carga de treinamento intensificada, Slivka et al.(13) observaram que percepção de vigor (POMS) foi a única dimensão psicológica significativamente correlacionada à intensificação do treinamento. Os escores decaíram até o 4º dia e se mantiveram baixos até o final do experimento. Quanto aos marcadores fisiológicos, os autores utilizaram um conjunto de condições para examinar o estado do atleta em relação aos sintomas de OR e/ou OTS que são: 1) Redução de 0,5% no desempenho; 2) Aumento da frequência cardíaca de repouso em 0,10%; 3) Aumento da frequência cardíaca submáxima com uma variação de dia para dia de mais de 8 batimentos por min^{-1} ; e 4) Redução de 30% na razão testosterona/cortisol. Apresentar mais do que dois destes sintomas classifica-se como

sintomático para OTS(13). Os resultados mostraram que enquanto os marcadores fisiológicos de OR/OTS indicavam estar atingindo patamares de atenção, o desempenho dos atletas não diminuiu. Tais achados sugerem plausibilidade de que atletas tenham atributos psicológicos que lhes permitam superar limitações físicas para manter o desempenho, o que pode ter um custo posterior, caso os limites físicos e psicológicos sejam ultrapassados.

Por outro lado, no estudo experimental de Bresciani et al.(15), que utilizou POMS e RESTQ-S – instrumentos comumente utilizados em acompanhamento de atletas, os resultados demonstraram que os sintomas psicológicos surgiram precocemente durante o período de treinamento intensificado, não tendo sido acompanhados por sinais nos biomarcadores. Assim, os autores concluíram que os parâmetros psicológicos são marcadores sensíveis para detectar estresse produzido pela elevação na carga de trabalho. Portanto, tais parâmetros devem ser utilizados no planejamento e na execução do treinamento de alto rendimento, contribuindo para a prevenção de OR e OTS.

Tanskanen et al.(16), em estudo observacional constituído de três avaliações ao longo de 8 semanas, compuseram um conjunto de critérios para classificar OR e OTS que foram os seguintes: 1) Redução de mais de 5% no $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ou deixar de realizar o teste por motivo de doença; 2) Aumento na média da percepção subjetiva de esforço durante a marcha de 45 minutos (em intensidade submáxima) do que 1.0; 3) Aumento nos sintomas somáticos de OR e OTS maior do que 15%; 4) Admissão de sentir-se fisicamente ou mentalmente sobrecarregado; e 5) Faltar ao serviço por motivo de doença mais do que 10% do período de estudo. Os sintomas somáticos foram classificações subjetivas de: bem-estar; sintomas gripais; distúrbios digestivos e apetite reduzido; distúrbios musculoesqueléticos e queixas físicas; e distúrbios de sono. As questões referiam-se a quantos dias na última semana cada sintoma foi vivenciado. E as respostas foram segundo uma escala *Likert* de 5 pontos: 1 = Nenhum dia, 2 = 1 dia, 3 = 2–3 dias, 4 = 4–5 dias e 5 = 6–7 dias. A soma dos sintomas resultou no escore de sintomas

somáticos de OTS. E foi somado ao escore o resultado da pergunta "Você sente-se fisicamente ou mentalmente sobrecarregado?". Os principais resultados foram que indivíduos que admitiram sentirem-se mentalmente sobrecarregados demonstraram baixos $VO_{2m\acute{a}x}$, massa magra e alta FC submáxima antes do treinamento. Trinta e três por cento dos participantes foram classificados como sintomáticos para OR/OTS.

A elaboração de um conjunto de critérios que tenha por objetivo identificar e classificar casos e não casos de desenvolvimento de OR/OTS é uma proposta em busca de soluções. Todavia, há que se investigar mais o assunto, sob a ótica da validade e comparabilidade e, ainda, examinar a associação de constructos já existentes, como é o caso do POMs e do RESTQ-S que, respectivamente, avaliam estados afetivos (humor) e o equilíbrio entre esforço e recuperação em treinamento esportivo com os marcadores fisiológicos. Nessa perspectiva, Freitas et al.(22), em estudo experimental, buscaram avaliar a sensibilidade dos seguintes indicadores: o desempenho no salto vertical de contramovimento relacionado ao RESTQ-Sport, à TQR e à CK para a intensificação de cargas de treinamento de voleibol. Os resultados encontrados apresentaram-se alinhados com os de Slivka et al.(13) no sentido de que, enquanto os marcadores fisiológicos alertavam para sintomas de OR/OTS, o desempenho dos atletas não sofreu decréscimo e, portanto, não apresentaram associação com fadiga. E os autores concluíram que CK, a TQR e o RESTQ-S são medidas e instrumentos que apresentam sensibilidade para o monitoramento da carga de trabalho durante o período pré-competitivo.

O estudo longitudinal de Alaphillippe et al.(17), com 9 meses de seguimento, encontrou correlação positiva de sintomas de OTS examinado pelo Questionário de OTS(72) com alamina transferase e CK, sendo que houve associação destes com fadiga. Os autores sugerem o monitoramento desses parâmetros bioquímicos para acompanhar a fadiga e a dificuldade do treino de rúgbi, esporte coletivo de altas demandas físicas e estratégicas.

Em relação à fadiga, Le Meur et al.(20) concluíram que enquanto o padrão da corrida

de atletas bem treinados foi mantido, o decréscimo no desempenho cognitivo só aconteceu quando atingida a exaustão em atletas com OR. Os autores sugeriram o cálculo de um índice, que combina as alterações da FC e da concentração de lactato no sangue após um período de treinamento extenuante, pode ser útil para detectar rotineiramente OR. O índice de OR:

$$OR_{index} = 0,17 \times \Delta FC + 0,89 \times \Delta [La^-]_b + 1,36$$

Onde:

ΔFC = variação na FC

$\Delta [La^-]_b$ = alterações na concentração de lactato sanguíneo.

Sartor et al.(21) encontraram correlação significativa entre variabilidade da FC, durante uma sessão de exercício de força em ginastas, e percepção subjetiva de esforço. Além disso, houve correlação também com o questionário de queixas de Foster(73). Os autores concluíram que monitorar a variabilidade da FC configura-se em uma ferramenta útil para avaliar a carga de treinamento e o estado psicológico do atleta. Milanez et al.(24), também, focalizaram marcadores fisiológicos e parâmetros psicológicos e encontraram correlação significativa de IgA salivar e sintomas de estresse psicológico com aplicação de carga no treinamento em atletas femininas de futsal.

Decroix et al.(10) correlacionaram os efeitos de carga de treinamento intensificada com o desempenho físico e cognitivo, em ciclistas mulheres. O critério para classificar como OR foi a diminuição em 1,3% ou mais no desempenho físico. OR estava correlacionado com menor desempenho cognitivo, mas não com POMs. Os autores sugerem que os resultados do estudo fortalecem a pressuposto de que um único marcador não é suficiente para a diagnose de OR.

Ten Haaf et al.(30) procuraram estabelecer distinção mais precisa entre FA de FOR e identificar preditores de OR. O principal resultado foi que a combinação das mudanças nas percepções de fadiga e de prontidão para treinar – medidas em escalas analógicas visuais simples, classificaram corretamente 78% dos participantes como AF ou FOR após apenas 3 dias de ciclismo (Tour de France). Em concordância com Decroix et al.(10), os achados de Ten Haaf et al. (30) indicam que a

utilização de um único parâmetro pode não ser sensível para detectar FOR, mas em combinação com outro indicador, o poder preditivo ganha robustez. Assim, os autores recomendam que a equipe técnica monitore não apenas a fadiga, mas, também, a prontidão subjetiva (autopercebida) e integrada mental-física para a atuação do atleta.

A literatura mostra que as escalas visuais analógicas são ferramentas úteis para facilmente monitorar o estado dos atletas em relação ao esforço e à fadiga. Nicoll et al.(34) investigaram a relação da escala visual de fadiga em atletas femininas de ciclismo como indicador de OTS. A escala apresenta classificações de fadiga com psicometria padrão com valores de 1 a 10. Os resultados mostraram que a percepção de fadiga estava correlacionada com decréscimo no desempenho o que tem sido apontado com um marcador de OTS(2). A escala visual pode ser observada no estudo de validade de Chuang et al.(74), que demonstrou bons índices para o instrumento.

Em síntese

A literatura é consistente mostrando que a FC é um dos principais marcadores de estresse psicofisiológico(75). Este marcador que tem sido investigado em relação à prática de exercícios que envolvem carga de trabalho em treinamento físico esportivo, configurando-se em um método direto, simples e de fácil aplicabilidade. Os resultados deste estudo de revisão mostram que esta continua sendo uma das principais avaliações a ser observada na execução do planejamento do treinamento. De fato, trata-se de uma categoria de opções para se monitorar o estado do atleta em relação à adaptação à carga de treinamento. São vários os parâmetros da FC que podem ser utilizados, dentre os quais, os principais são: a FCrest, a variabilidade da FC e a FCR. Nesse contexto, um decréscimo na variabilidade da frequência cardíaca indica OTS ou exaustão(46,47).

Destacam-se os achados de Le Meur et al. (29) que indicaram que o parâmetro da FC sensível para detectar FOR é a FCR tomada após o exercício submáximo.

Em relação aos hormônios testosterona e cortisol, a razão T/C é um dos principais métodos diretos para diagnosticar OR/OTS,

sendo que uma diminuição de 30% classifica o indivíduo como caso(52). Não obstante, os resultados dos estudos são controversos, alguns encontram associação destes hormônios com OR/OTS outros não encontram. Os que encontraram associação utilizaram, junto com este, outros marcadores.

Quanto à imunologia, a IgA diminui quando os exercícios são intensos levando à imunopressão. Todavia, também, não se configura em único marcador suficiente de OR/OTS. De semelhante modo, as concentrações de lactato sanguíneo isoladas não são suficientes para indicar exaustão, mas a literatura é consistente que este marcador associado a alterações na FC constituem um índice útil para a detecção de OR.

Dentre os marcadores fisiológicos, o que consistentemente apresenta-se associado ao aumento de carga no treinamento é a CK.

Os estudos participantes desta análise, não demonstraram associação significativa entre aumento de carga no treinamento e incremento na resposta inflamatória (II-6).

Outro resultado que deve ser destacado é que atletas com OR/OTS apresentam decréscimo em sua capacidade aeróbica.

A OTS reflete a tentativa do corpo humano de lidar com o estresse físico e/ou psicológico e outras alterações fisiológicas decorrentes da soma de vários fatores causadores de estresse como: treinamento físico de alta intensidade, perturbações no sono, condições climáticas (calor, alta umidade, frio e altitude elevada) e estresse no ambiente de trabalho, e outros fatores intra e interpessoais(2,76). Em circunstâncias estressoras, o sistema endócrino é estimulado e atua para neutralizar a situação de estresse. Concomitante às adaptações fisiológicas relacionadas ao estresse ocorre a adaptação comportamental, é a atuação do eixo hipotálamo-pituitário-adrenal. Além disso, há evidências de que em condições persistentes de estímulos estressores em treinamento intenso, sobrecarregará o organismo e os níveis de cortisol decrescem devido à diminuição da capacidade de resposta pelo eixo hipotálamo-pituitário-adrenal(2). O consenso científico euro-americano afirmou que o critério definitivo para o diagnóstico de OTS ainda é uma lacuna devido à inconsistência de dados presente na literatura(2).

Ao longo dos anos, os pesquisadores têm buscado encontrar maneiras de identificar e melhor definir os sintomas de OTS por meio de marcadores fisiológicos, hormonais, imunológicos e psicológicos(3). Estudos prévios de revisão apontam os seguintes fatores relacionados à OTS: fisiológicos (alterações nos padrões de frequência cardíaca de repouso, pressão sanguínea e respiração; diminuição da gordura e do peso corporal pós-exercício, diminuição da resposta ao lactato, aumento da taxa de metabolismo basal, fadiga crônica, distúrbios de sono e de apetite, interrupções menstruais, dores de cabeça e perturbações gastrointestinais, dores e lesões musculares e articulares, entre outras); imunológicos (aumento na ocorrência de doenças, inchaço dos gânglios linfáticos, retardo na recuperação da saúde e diminuição da função imunológica); bioquímicos (aumento do *serum* de cortisol, diminuição do *serum* de testosterona, do glicogênio muscular, do *serum* de hemoglobina, ferro, ferritina, ocorrência de rabdomiólise e elevação da proteína C-reativa); psicológicos (depressão e apatia, diminuição da autoestima, da capacidade de concentração, diminuição da autoeficácia, sensibilidade ao estresse e falta de coordenação); e, finalmente, afetam o desempenho levando à diminuição em força muscular, potência, endurance (resistência muscular e resistência cardiovascular) e, ainda, diminuição da tolerância ao treinamento e ao aumento das necessidades de recuperação e acréscimo quantitativo em faltas técnicas)(2,51).

No presente estudo, observou-se que, de um lado, alguns pesquisadores utilizaram apenas marcadores fisiológicos para tentar diagnosticar OR e OTS. E, por outro lado, outros cientistas incluíram no diagnóstico da OTS também os sintomas de estresse psicológico e têm buscado instrumentos preditores de OTS para preveni-la. Uma das avaliações mais utilizadas é o estado afetivo por meio do POMS: *Profile of Mood States* (questionário do Perfil de Estado de Humor)(10,13,15,27).

Os marcadores fisiológicos encontrados na literatura nesta revisão foram: frequência cardíaca, hormonais, imunológicos e hematológicos, bioquímicos e aspectos

genéticos e os sintomas psicológicos relacionados à OTS, apontados foram alterações em: estado afetivo (humor), percepção de esforço, percepção de fadiga, sintomas psicossomáticos, percepção de sobrecarga psicológica, sintomas de estresse psicológico, desempenho cognitivo, percepção de bem-estar físico e de bem-estar psicológico.

Nesta revisão sistemática, observou-se que parte dos estudos não investigou a interação dos fatores psicológicos com os fatores fisiológicos, entretanto, todos os que realizaram este tipo de investigação, encontraram associação significativa com os fatores fisiológicos.

Quanto à recuperação de atletas com OTS, Gremion e Kuntzer(77) estabeleceram que para a recuperação do atleta com OTS, descanso, paciência e empatia são as únicas opções de tratamento.

Sugere-se que os treinadores, incluam no planejamento e periodização do treinamento, avaliações dos marcadores bio-psico-fisiológicos quanto à situação em relação à carga de treinamento e identificar precocemente aqueles que apresentam FA, FOR, NFOR e OR, buscando prevenir a OTS. Nessa perspectiva, o consenso da equipe científica do Comitê Olímpico Internacional(78) apresentou algumas recomendações aos treinadores no intuito de contribuir tanto com o desempenho quanto com a saúde de atletas. Para tanto, os atletas devem ter um plano detalhado de treinamento e competição individualizado, incluindo medidas de recuperação pós-evento que englobe nutrição e hidratação, sono e recuperação psicológica. A carga de treinamento deve ser monitorada usando medições de carga externa (medidas objetivas) e interna (medidas subjetivas). Quanto à aplicação da carga de treinamento as recomendações são as seguintes:

- As mudanças na carga de treinamento devem ser individualizadas, pois há grandes variações intraindividuais e interindividuais no tempo de resposta e adaptação à carga.
- As alterações na carga de treinamento devem ser em pequenos incrementos, com dados

da literatura quanto à ocorrência de lesões indicando que os incrementos semanais devem ser <10%.

Quanto ao gerenciamento da carga psicológica (fatores estressores), como o estresse de eventos de vida negativos e as dificuldades cotidianas, o consenso esclarece que podem aumentar significativamente o risco de doenças em atletas. E as recomendações clínicas práticas concentram-se na redução dos estressores por parte dos atletas, treinadores e equipe de apoio no gerenciamento pró-ativo do estresse. Nesse sentido, deve-se desenvolver estratégias de resiliência, que ajudem os atletas a entender a relação entre traços pessoais, eventos negativos da vida, pensamentos, emoções e estados fisiológicos. Uma melhor compreensão desses fatores pode ajudá-los a minimizar o impacto de eventos negativos na vida e o risco subsequente de adoecer. As ações recomendadas são as seguintes:

- Educar os atletas nas técnicas de controle do estresse, criar confiança e estabelecer metas, otimamente sob a supervisão de um psicólogo esportivo, para ajudar a minimizar os efeitos do estresse e reduzir a probabilidade de doenças.
- Reduzir as cargas e intensidades de treinamento e / ou competição para reduzir o risco de doenças em atletas que parecem desfocados em consequência de eventos negativos na vida ou de constantes aborrecimentos diários.
- Implementar avaliações de estresse periódicas para informar o ajuste do treinamento de atletas e/ou cargas de competição. Um atleta que relata altos níveis de aborrecimentos diários ou estresse pode se beneficiar da redução da carga de treinamento durante um período especificado para evitar fadiga, doença ou esgotamento.

Qualidade em relatos científicos

Observou-se que a qualidade dos relatos deixa a desejar por não seguirem as

recomendações de protocolos importantes na área da saúde como o STROBE, no caso de estudos observacionais e o CONSORT, para o caso de estudos experimentais. Nesse contexto, as variáveis deixaram de ser claramente explicitadas. Nessa perspectiva, é necessário que o texto defina com clareza as variáveis desfecho e as variáveis de exposição. A prática de mencioná-las no decorrer do texto referente aos procedimentos experimentais, dificulta a leitura e a compreensão quanto ao experimento. É importante que os pesquisadores tenham o cuidado de reportar seus achados com a máxima concisão e clareza.

Pontos fortes e limitações do estudo

Um ponto forte do presente estudo foi levantar o que há de mais recente na literatura quanto à prevenção de OTS no âmbito do treinamento esportivo de alto rendimento.

Dentre as limitações do estudo está que a única base pesquisada foi o PubMed/MedLine. Todavia, esta metodologia tem sido amplamente utilizada, e este indexador abrange a maior parte das publicações científicas na área das ciências da saúde.

Conclusão

O objetivo do presente trabalho foi realizar uma revisão da literatura acerca da OTS, abordando os principais marcadores fisiológicos e seus efeitos psicológicos levantados em estudos recentes. O objetivo do treinamento em preparação de atletas para competição é ministrar cargas de treinamento eficazes para a melhora do desempenho, porém, a manutenção do equilíbrio entre o estresse, aplicado para promover adaptações psicofisiológicas, e a recuperação representa um desafio constante para treinadores e atletas.

De acordo com os resultados exibidos na literatura, o que se espera é identificar os sintomas de OTS antes que haja o decréscimo no desempenho. Tendo em vista que enquanto marcadores fisiológicos foram significativos na detecção de OR/OTS, o nível do desempenho foi mantido.

O conhecimento científico deve avançar no sentido de diminuir a lacuna entre a teoria e a prática no treinamento de atletas que competem, nos mais diferentes níveis

esportivos. As análises realizadas no presente estudo apontam que mais estudos que avaliem a relação dos marcadores fisiológicos com avaliações subjetivas escalonadas dos atletas, para que seja possível um monitoramento da carga de trabalho sem que haja necessidade premente de se realizar coletas de sangue, posto que exames invasivos, potencialmente, representam um fator estressor a mais.

Face à complexidade do fenômeno, até o momento, os cientistas não puderam definir os critérios diagnósticos do excesso de treinamento. Nesse contexto, tanto a diagnose de OTS apresenta problemas quanto a comparabilidade dos estudos fica prejudicada.

Os resultados de estudos experimentais e observacionais, ambos longitudinais, parecem apresentar inconsistência quanto à análise hormonal de testosterona e cortisol como marcadores fisiológicos de sintomas de OTS, em relação ao incremento de intensidade na carga de trabalho. Nesse sentido, sugere-se que mais estudos sejam conduzidos para que se esclareçam as relações existentes. Destaca-se que estudos do tipo observacionais parecem ser os mais desejáveis, a fim de que as variáveis presentes sejam aquelas com as quais os atletas, de fato, convivem durante os ciclos de treinamento.

Quanto aos aspectos de saúde, embora a prática de atividade física em intensidade moderada melhore o funcionamento do sistema imunológico, a literatura é consistente sobre a associação do treinamento físico de alta intensidade com a diminuição da atuação desse sistema, o que predispõe o atleta à ocorrência de doenças.

Com respeito à interação de fatores genéticos com sintomas de OTS, mais estudos devem ser conduzidos, a fim de melhor esclarecer situações que exijam maior atenção na preparação atlética.

Recomenda-se que pesquisadores que se propõem a pesquisar o tema busquem aplicar os termos com a maior precisão possível a fim de contribuir para a comparabilidade entre estudos.

Conclui-se que, independentemente do tipo de marcador, nenhum deles, isoladamente, é suficiente para detectar a complexa condição que são OR e OTS. Antes, a literatura recomenda que sejam utilizadas associação de

mais de um marcador na rotina de monitoramento da aplicação de carga no treinamento de atletas. Observa-se que permanecem questões quanto à interação psicofisiológica da prática esportiva e quanto à obtenção de estratégias de monitoramento para que, mesmo antes que os sintomas fisiológicos, ou de desempenho sejam percebidos, seja possível a detecção do excesso de sobrecarga e, conseqüentemente, o adequado ajuste do plano de treino. Há um longo caminho a ser percorrido.

Declaração de conflito de interesses

Não nenhum conflito de interesses em relação ao presente estudo.

Declaração de financiamento

Pesquisa sem financiamento.

Referências

1. Silva ASR, Santhiago V, Gobatto CA. Compreendendo o overtraining no desporto: da definição ao tratamento. *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*. 2006;6(2): 229–238.
2. Meeusen R, Duclos M, Foster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, et al. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and science in sports and exercise*. [Online] 2013;45(1): 186–205. Available from: doi:10.1249/MSS.0b013e318279a10a
3. Kreher JB, Schwartz JB. Overtraining syndrome: a practical guide. *Sports health*. [Online] 2012;4(2): 128–138. Available from: doi:10.1177/1941738111434406
4. Carfagno DG, Hendrix JC. Overtraining syndrome in the athlete: current clinical practice. *Current Sports Medicine Reports*. [Online] 2014;13(1): 45–51. Available from: doi:10.1249/JSR.0000000000000027
5. Halson SL, Jeukendrup AE. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*. 2004;34(14): 967–981.

6. MacAuley D, Best T. *Evidence-Based Sports Medicine*. 2 edition. Malden, Mass. ; Oxford: BMJ Books; 2007. 640 p.
7. Sampaio RF, Mancini MC. Systematic review studies: a guide for careful synthesis of the scientific evidence. *Brazilian Journal of Physical Therapy*. [Online] 2007;11(1): 83–89. Available from: doi:10.1590/S1413-35552007000100013
8. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JPA, et al. The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *PLoS Med*. [Online] 2009;6(7): e1000100. Available from: doi:10.1371/journal.pmed.1000100
9. *PROSPERO - International prospective register of systematic reviews*. [Online] Available from: <http://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/> [Accessed: 19th February 2015]
10. Decroix L, Piacentini MF, Rietjens G, Meeusen R. Monitoring Physical and Cognitive Overload During a Training Camp in Professional Female Cyclists. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. [Online] 2016;11(7): 933–939. Available from: doi:10.1123/ijsp.2015-0570
11. Tian Y, He Z, Zhao J, Tao D, Xu K, Midgley A, et al. An 8-year longitudinal study of overreaching in 114 elite female Chinese wrestlers. *Journal of Athletic Training*. [Online] 2015;50(2): 217–223. Available from: doi:10.4085/1062-6050-49.3.57
12. Majumdar P. Response of selected hormonal markers during training cycles on indian female swimmers. *Biology of Sport*. 2010;27(1): 53–57.
13. Slivka DR, Hailes WS, Cuddy JS, Ruby BC. Effects of 21 days of intensified training on markers of overtraining. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*. [Online] 2010;24(10): 2604–2612. Available from: doi:10.1519/JSC.0b013e3181e8a4eb
14. Meeusen R, Nederhof E, Buyse L, Roelands B, de Schutter G, Piacentini MF. Diagnosing overtraining in athletes using the two-bout exercise protocol. *British Journal of Sports Medicine*. [Online] 2010;44(9): 642–648. Available from: doi:10.1136/bjism.2008.049981
15. Bresciani G, Cuevas MJ, Molinero O, Almar M, Suay F, Salvador A, et al. Signs of overload after an intensified training. *International journal of sports medicine*. [Online] 2011;32(5): 338–343. Available from: doi:10.1055/s-0031-1271764
16. Tanskanen MM, Kyröläinen H, Uusitalo AL, Huovinen J, Nissilä J, Kinnunen H, et al. Serum sex hormone-binding globulin and cortisol concentrations are associated with overreaching during strenuous military training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Online] 2011;25(3): 787–797. Available from: doi:10.1519/JSC.0b013e3181c1fa5d
17. Alaphilippe A, Mandigout S, Ratel S, Bonis J, Courteix D, Duclos M. Longitudinal follow-up of biochemical markers of fatigue throughout a sporting season in young elite rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*. [Online] 2012;26(12): 3376–3384. Available from: doi:10.1519/JSC.0b013e3182474687
18. Heisterberg MF, Fahrenkrug J, Krstrup P, Storskov A, Kjær M, Andersen JL. Extensive monitoring through multiple blood samples in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*. [Online] 2013;27(5): 1260–1271. Available from: doi:10.1519/JSC.0b013e3182653d17
19. Marin DP, Bolin AP, Campoio TR, Guerra BA, Otton R. Oxidative stress and antioxidant status response of handball athletes: implications for sport training monitoring. *International Immunopharmacology*. [Online]

- 2013;17(2): 462–470. Available from: doi:10.1016/j.intimp.2013.07.009
20. Le Meur Y, Hausswirth C, Natta F, Couturier A, Bignet F, Vidal PP. A multidisciplinary approach to overreaching detection in endurance trained athletes. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*. [Online] 2013;114(3): 411–420. Available from: doi:10.1152/jappphysiol.01254.2012
 21. Sartor F, Vailati E, Valsecchi V, Vailati F, La Torre A. Heart rate variability reflects training load and psychophysiological status in young elite gymnasts. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Online] 2013;27(10): 2782–2790. Available from: doi:10.1519/JSC.0b013e31828783cc
 22. Freitas VH, Nakamura FY, Miloski B, Samulski D, Bara-Filho MG. Sensitivity of physiological and psychological markers to training load intensification in volleyball players. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2014;13(3): 571–579.
 23. Chamera T, Spieszny M, Klocek T, Kostrzewa-Nowak D, Nowak R, Lachowicz M, et al. Could biochemical liver profile help to assess metabolic response to aerobic effort in athletes? *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*. [Online] 2014;28(8): 2180–2186. Available from: doi:10.1519/JSC.0000000000000398
 24. Milanez VF, Ramos SP, Okuno NM, Boullosa DA, Nakamura FY. Evidence of a Non-Linear Dose-Response Relationship between Training Load and Stress Markers in Elite Female Futsal Players. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2014;13(1): 22–29.
 25. Grove JR, Main LC, Partridge K, Bishop DJ, Russell S, Shepherdson A, et al. Training distress and performance readiness: laboratory and field validation of a brief self-report measure. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. [Online] 2014;24(6): e483-490. Available from: doi:10.1111/sms.12214
 26. Galliera E, Lombardi G, Marazzi MG, Grasso D, Vianello E, Pozzoni R, et al. Acute exercise in elite rugby players increases the circulating level of the cardiovascular biomarker GDF-15. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*. [Online] 2014;74(6): 492–499. Available from: doi:10.3109/00365513.2014.905697
 27. Le Meur Y, Louis J, Aubry A, Guéneron J, Pichon A, Schaal K, et al. Maximal exercise limitation in functionally overreached triathletes: role of cardiac adrenergic stimulation. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*. [Online] 2014;117(3): 214–222. Available from: doi:10.1152/jappphysiol.00191.2014
 28. Arakawa K, Hosono A, Shibata K, Ghadimi R, Fuku M, Goto C, et al. Changes in blood biochemical markers before, during, and after a 2-day ultramarathon. *Open Access Journal of Sports Medicine*. [Online] 2016;7: 43–50. Available from: doi:10.2147/OAJSM.S97468
 29. Le Meur Y, Buchheit M, Aubry A, Coutts AJ, Hausswirth C. Assessing Overreaching With Heart-Rate Recovery: What Is the Minimal Exercise Intensity Required? *International Journal of Sports Physiology and Performance*. [Online] 2017;12(4): 569–573. Available from: doi:10.1123/ijsp.2015-0675
 30. Ten Haaf T, van Staveren S, Oudenhoven E, Piacentini MF, Meeusen R, Roelands B, et al. Prediction of Functional Overreaching From Subjective Fatigue and Readiness to Train After Only 3 Days of Cycling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. [Online] 2017;12(Suppl 2): S287–S294. Available from: doi:10.1123/ijsp.2016-0404
 31. Susta D, Dudnik E, Glazachev OS. A programme based on repeated hypoxia-hyperoxia exposure and light exercise enhances performance in athletes with overtraining syndrome: a pilot study. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. [Online] 2017;37(3): 276–281. Available from: doi:10.1111/cpf.12296

32. Lombardi G, Vitale JA, Logoluso S, Logoluso G, Cocco N, Cocco G, et al. Circannual rhythm of plasmatic vitamin D levels and the association with markers of psychophysical stress in a cohort of Italian professional soccer players. *Chronobiology International*. [Online] 2017;34(4): 471–479. Available from: doi:10.1080/07420528.2017.1297820
33. Joro R, Uusitalo A, DeRuisseau KC, Atalay M. Changes in cytokines, leptin, and IGF-1 levels in overtrained athletes during a prolonged recovery phase: A case-control study. *Journal of Sports Sciences*. [Online] 2017;35(23): 2342–2349. Available from: doi:10.1080/02640414.2016.1266379
34. Nicoll JX, Hatfield DL, Melanson KJ, Nasin CS. Thyroid hormones and commonly cited symptoms of overtraining in collegiate female endurance runners. *European Journal of Applied Physiology*. [Online] 2018;118(1): 65–73. Available from: doi:10.1007/s00421-017-3723-9
35. Aubry A, Hausswirth C, Louis J, Coutts AJ, Meur YL. Functional Overreaching: The Key to Peak Performance during the Taper? *Medicine & Science in Sports & Exercise*. [Online] 2014;46(9): 1769–1777. Available from: doi:10.1249/MSS.0000000000000301
36. Aubry A, Hausswirth C, Louis J, Coutts AJ, Buchheit M, Meur YL. The Development of Functional Overreaching Is Associated with a Faster Heart Rate Recovery in Endurance Athletes. *PLOS ONE*. [Online] 2015;10(10): e0139754. Available from: doi:10.1371/journal.pone.0139754
37. Kellmann M. *Enhancing Recovery: Preventing Underperformance in Athletes*. Human Kinetics; 2002. 356 p.
38. Meeusen R, Duclos M, Gleeson M, Rietjens G, Steinacker J, Urhausen A. Prevention, diagnosis and treatment of the Overtraining Syndrome. *European Journal of Sport Science*. [Online] 2006;6(1): 1–14. Available from: doi:10.1080/17461390600617717
39. Thorpe RT, Strudwick AJ, Buchheit M, Atkinson G, Drust B, Gregson W. Monitoring Fatigue During the In-Season Competitive Phase in Elite Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. [Online] 2015;10(8): 958–964. Available from: doi:10.1123/ijsp.2015-0004
40. Djaoui L, Haddad M, Chamari K, Dellal A. Monitoring training load and fatigue in soccer players with physiological markers. *Physiology & Behavior*. [Online] 2017;181: 86–94. Available from: doi:10.1016/j.physbeh.2017.09.004
41. Saw AE, Main LC, Gastin PB. Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *Br J Sports Med*. [Online] 2016;50(5): 281–291. Available from: doi:10.1136/bjsports-2015-094758
42. Task Force. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*. 1996;93(5): 1043–1065.
43. Grant CC, Mongwe L, Janse van Rensburg DC, Fletcher L, Wood PS, Terblanche E, et al. The Difference Between Exercise-Induced Autonomic and Fitness Changes Measured After 12 and 20 Weeks of Medium-to-High Intensity Military Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*. [Online] 2016;30(9): 2453–2459. Available from: doi:10.1519/JSC.0b013e3182a1fe46
44. Mourtou L, Bouhaddi M, Perrey S, Cappelle S, Henriot M-T, Wolf J-P, et al. Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2004;24(1): 10–18.
45. Bosquet L, Merkari S, Arvisais D, Aubert AE. Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*. [Online] 2008;42(9): 709–

714. Available from: doi:10.1136/bjism.2007.042200
46. Kiss O, Sydó N, Vargha P, Vágó H, Czibalmos C, Édes E, et al. Detailed heart rate variability analysis in athletes. *Clinical Autonomic Research: Official Journal of the Clinical Autonomic Research Society*. [Online] 2016;26(4): 245–252. Available from: doi:10.1007/s10286-016-0360-z
47. Baumert M, Brechtel L, Lock J, Hermsdorf M, Wolff R, Baier V, et al. Heart Rate Variability, Blood Pressure Variability, and Baroreflex Sensitivity in Overtrained Athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*. [Online] 2006;16(5): 412–417. Available from: doi:10.1097/01.jsm.0000244610.34594.07
48. Kajaia T, Maskhulia L, Chelidze K, Akhalkatsi V, Kakhabrishvili Z. The effects of non-functional overreaching and overtraining on autonomic nervous system function in highly trained athletes. *Georgian Medical News*. 2017;(264): 97–103.
49. St-Pierre DH, Richard D. The Effect of Exercise on the Hypothalamic–Pituitary–Adrenal Axis. In: Constantini N, Hackney AC (eds.) *Endocrinology of Physical Activity and Sport*. [Online] Humana Press; 2013. p. 37–47. Available from: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-62703-314-5_3 [Accessed: 14th October 2014]
50. Wilmore JH, Costill DL. *Fisiologia do esporte e do exercício*. São Paulo, SP. Brasil.: Manole; 2001. 709 p.
51. Bandyopadhyay A, Bhattacharjee I, Sousana PK. Physiological Perspective of Endurance Overtraining -- A Comprehensive Update. *Al Ameen Journal of Medical Sciences*. 2012;5(1): 7.
52. Adlercreutz H, Härkönen M, Kuoppasalmi K, Näveri H, Huhtaniemi I, Tikkanen H, et al. Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. *International Journal of Sports Medicine*. 1986;7 Suppl 1: 27–28.
53. Urhausen A, Gabriel H, Kindermann W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Medicine*. 1995;20(4): 251–276.
54. Maso F, Lac G, Filaire E, Michaux O, Robert A. Salivary testosterone and cortisol in rugby players: correlation with psychological overtraining items. *British Journal of Sports Medicine*. [Online] 2004;38(3): 260–263. Available from: doi:10.1136/bjism.2002.000254
55. Hayes S, Luoma J, Bond F, Masuda A, Lillis J. Acceptance and commitment therapy: Model, processes and outcomes. *Behaviour Research and Therapy*. 2006;44: 1–25.
56. Hayes LD, Sculthorpe N, Young JD, Baker JS, Grace FM. Critical difference applied to exercise-induced salivary testosterone and cortisol using enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA): distinguishing biological from statistical change. *Journal of Physiology and Biochemistry*. [Online] 2014; Available from: doi:10.1007/s13105-014-0368-6
57. Trochimiak T, Hübner-Woźniak E. Effect of exercise on the level of immunoglobulin a in saliva. *Biology of Sport / Institute of Sport*. [Online] 2012;29(4): 255–261. Available from: doi:10.5604/20831862.1019662
58. Mackinnon LT. Immunity in athletes. *International Journal of Sports Medicine*. [Online] 1997;18 Suppl 1: S62-68. Available from: doi:10.1055/s-2007-972701
59. Hejazi K, Hosseini S-RA. Influence of Selected Exercise on Serum Immunoglobulin, Testosterone and Cortisol in Semi-Endurance Elite Runners. *Asian Journal of Sports Medicine*. 2012;3(3): 185–192.
60. Brooks K, Carter J. Overtraining, Exercise, and Adrenal Insufficiency. *Journal of Novel Physiotherapies*. [Online] 2013;3(125). Available from: doi:10.4172/2165-7025.1000125
61. Casuso RA, Aragon-Vela J, Huertas JR, Ruiz-Ariza A, Martínez-Lopez EJ.

- Comparison of the inflammatory and stress response between sprint interval swimming and running. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. [Online] 2018;28(4): 1371–1378. Available from: doi:10.1111/sms.13046
62. Meeusen R, Piacentini MF, Busschaert B, Buyse L, De Schutter G, Stray-Gundersen J. Hormonal responses in athletes: the use of a two bout exercise protocol to detect subtle differences in (over)training status. *European Journal of Applied Physiology*. [Online] 2004;91(2–3): 140–146. Available from: doi:10.1007/s00421-003-0940-1
63. Urhausen A, Gabriel HH, Weiler B, Kindermann W. Ergometric and psychological findings during overtraining: a long-term follow-up study in endurance athletes. *International Journal of Sports Medicine*. [Online] 1998;19(2): 114–120. Available from: doi:10.1055/s-2007-971892
64. Nikolaidis PT. Age-predicted vs. measured maximal heart rate in young team sport athletes. *Nigerian Medical Journal: Journal of the Nigeria Medical Association*. [Online] 2014;55(4): 314–320. Available from: doi:10.4103/0300-1652.137192
65. Finaud J, Scislawski V, Lac G, Durand D, Vidalin H, Robert A, et al. Antioxidant Status and Oxidative Stress in Professional Rugby Players: Evolution Throughout a Season. *International Journal of Sports Medicine*. [Online] 2006;27(2): 87–93. Available from: doi:10.1055/s-2005-837489
66. Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British Medical Bulletin*. [Online] 2007;81–82: 209–230. Available from: doi:10.1093/bmb/ldm014
67. Miranda-Vilela AL, Akimoto AK, Lordelo GS, Pereira LCS, Grisolia CK, Klautau-Guimarães M de N. Creatine kinase MM TaqI and methylenetetrahydrofolate reductase C677T and A1298C gene polymorphisms influence exercise-induced C-reactive protein levels. *European Journal of Applied Physiology*. [Online] 2012;112(3): 941–950. Available from: doi:10.1007/s00421-011-1961-9
68. Oliveira CMB de, Sakata RK, Issy AM, Gerola LR, Salomão R. Cytokines and pain. *Revista Brasileira de Anestesiologia*. [Online] 2011;61(2): 260–265. Available from: doi:10.1590/S0034-70942011000200014
69. Knudsen JG, Murholm M, Carey AL, Biensø RS, Basse AL, Allen TL, et al. Role of IL-6 in exercise training- and cold-induced UCP1 expression in subcutaneous white adipose tissue. *PLoS One*. [Online] 2014;9(1): e84910. Available from: doi:10.1371/journal.pone.0084910
70. Mäestu J, Jürimäe J, Purge P, Rämson R, Jürimäe T. Performance improvement is associated with higher postexercise responses in interleukin-6 and tumor necrosis factor concentrations. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 2010;50(4): 524–529.
71. Kellmann M, Kallus KW. *The Recovery-Stress Questionnaire for Athletes: User Manual*. Champaign, IL - USA: Human Kinetics; 2001. 118 p.
72. Legros P. Le surentraînement: diagnostic des manifestations psychocomportementales précoces. *Science & Sports*. [Online] 1993;8(2): 71–74. Available from: doi:10.1016/S0765-1597(05)80048-6
73. Guten GN *Running Injuries*. W.B. Saunders; 1997.
74. Chuang L, Lin K, Hsu A, Wu C, Chang K, Li Y, et al. Reliability and validity of a vertical numerical rating scale supplemented with a faces rating scale in measuring fatigue after stroke. *Health and Quality of Life Outcomes*. [Online] 2015;13(1): 91. Available from: doi:10.1186/s12955-015-0290-9
75. Cacioppo JT, Tassinary LG, Berntson GG. *Handbook of Psychophysiology*. 4th ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2016. 2835 p.
76. Iso-Ahola SE. Intrapersonal and interpersonal factors in athletic

- performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 1995;5(4): 191–199.
77. Gremion G, Kuntzer T. [Fatigue and reduction in motor performance in sportspeople or overtraining syndrome]. *Revue Medicale Suisse*. 2014;10(428): 962, 964–965.
78. Schweltnus M, Soligard T, Alonso J-M, Bahr R, Clarsen B, Dijkstra HP, et al. How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. *British Journal of Sports Medicine*. [Online] 2016;50(17): 1043–1052. Available from: doi:10.1136/bjsports-2016-096572