

Sistema immunològic i exercici **Sistema inmunológico y ejercicio**

José Ignacio Rodríguez Crespo

Departament de Bioquímica i Biologia Molecular I. Universitat Complutense de Madrid

RESUM

Malgrat l'ona informativa creixent, enaltint els beneficis de l'exercici físic sobre la salut, poden semblar sorprenents els pocs coneixements que ara com ara tenim sobre la influència de l'exercici en el sistema immune. Un gran nombre d'atletes són de l'opinió que l'exercici físic millora la seva resistència a la infecció, malgrat que fins a la data no hi ha dades epidemiològiques que donin suport a aquesta creença. Els estudis portats a terme sobre la resposta immunològica d'un gran nombre d'individus no han aportat resultats concloents. Tot i que és cert que l'exercici físic dóna lloc a limfocitosi i a leucocitosi polimorfonuclear, el significat fisiològic d'aquests fets podria ser pràcticament insignificant. Els nivells d'interleucina-1, un immunoestimulant, augmenten també com a conseqüència de l'exercici, i en aquest sentit sí que sembla necessari aprofundir-hi amb nous estudis. D'altra banda, algunes dades sostindrien el fet que els entrenaments d'una duresa excessiva augmenten la susceptibilitat de l'individu enfront de les infeccions.

RESUMEN

A pesar de la creciente ola informativa ensalzando los beneficios del ejercicio físico sobre la salud, puede parecer sorprendente los pocos conocimientos que se tienen hoy en día acerca de la influencia del ejercicio en el sistema inmune. Un gran número de atletas son de la opinión de que el ejercicio físico mejora su resistencia a la infección, a pesar de que hasta la fecha no hay datos epidemiológicos que apoyen esta creencia. Los estudios llevados a cabo acerca de la respuesta inmunológica de un gran número de individuos no han aportado resultados concluyentes. Si bien es cierto que el ejercicio físico da lugar a linfocitosis y a leucocitosis polimorfonuclear, el significado fisiológico de estos hechos pudiera ser prácticamente insignificante. Los niveles de interleucina-1, un immunoestimulante, aumentan también como consecuencia del ejercicio, y en este sentido sí parece necesario profundizar con nuevos estudios. Por otro lado, algunos datos apoyarían el hecho de que los entrenamientos de una dureza excesiva aumentan la susceptibilidad del individuo frente a las infecciones.

Sistema immune i exercici

El saber popular manté la creença que una bona condició física ajuda a evitar infeccions, mentre que estar "fet pols" o "baix de forma" augmenta la susceptibilitat a patir certes malalties. Tanmateix, fins i tot els atletes d'elit pateixen diversos processos infectius, i amb una freqüència molt semblant a la dels individus sedentaris. Un dels propòsits

Sistema inmune y ejercicio

El saber popular mantiene la creencia de que una buena condición física ayuda a evitar infecciones, mientras que el estar "hecho polvo" o "bajo de forma" aumenta la susceptibilidad a padecer ciertas enfermedades. Sin embargo, hasta los atletas de élite sufren diversos procesos infectivos, y con una frecuencia muy semejante a la de indivi-

d'aquest breu treball és avaluar les diverses evidències científiques en aquest aspecte.

Actualment sembla perfectament demostrat que en animals de laboratori un exercici físic posterior a infeccions induïdes augmenta en gran mesura la severitat d'aquestes. En ratolins infectats deliberadament amb el coxvirus B3, un exercici de natació després d'haver realitzat la inoculació produïa viremies 75 vegades més elevades, nivells vírics en cor 1.000 vegades més grans i necrosis del teixit cardíac molt més severes que no en ratolins sedentaris control. En ratolins forçats a nedar 6 setmanes després de la infecció amb el paràsit *Trypanosoma cruzi*, també s'hi observen infiltracions cardíques parasitàries més severes i una mortalitat augmentada. Tanmateix, 7 dies de natació després d'una infecció provocada amb el bacteri *Francisella tularensis* no semblava que tingués efecte en la severitat de la malaltia.

Mentre que l'exercici físic posterior a una infecció sovint va associat amb una major susceptibilitat enfront de certes malalties, un exercici físic previ a les infeccions induïdes experimentalment sembla que confereix resistència enfront de certes patologies. En experiments en els quals se sotmetia ratolins a un exercici físic en tapisos rodants durant 16-18 dies abans d'una infecció induïda per *Salmonella typhimurium* es pogué constatar una major supervivència que no en ratolins control sedentaris. S'ha arribat a resultats semblants amb tumors. En ratolins entrenats en exercicis de cursa i natació durant 1-8 setmanes abans de la implantació tumoral s'observà un creixement més lent del tumor així com una supervivència més prolongada després d'una inoculació amb un tumor ascític que no l'observada en ratolins control.

Mecanismes immunològics de defensa i exercici físic

Interferons

Els interferons són un grup de proteïnes naturals produïdes per les cèl·lules de l'hoste en resposta a infeccions virals i a altres tipus d'estímuls. Els interferons exerceixen efectes antivírics que comencen a les poques hores de la infecció viral i poden persistir durant dies. En un estudi amb vuit subjectes no entrenats ha estat descrita una elevació dels nivells d'interferons sèrics com a conseqüència d'una hora d'exercici submàxim en un ergòmetre de bicicleta. Malgrat que aquests canvis induïts per l'exercici en els nivells d'interferó eren estadísticament significants, la seva magnitud era comparativament petita ja que una infecció vírica natural produeix nivells d'interferó de 10 a 20 vegades més grans. A més, l'elevació dels nivells d'interferó produïda per l'exercici és molt breu; dura

duos sedentarios. Uno de los propósitos de este breve trabajo es evaluar las diversas evidencias científicas a este respecto.

Hoy día, parece perfectamente demostrado que en animales de laboratorio, un ejercicio físico posterior a infecciones inducidas aumenta en gran medida la severidad de estas últimas. En ratones infectados de forma deliberada con el coxvirus B3, un ejercicio de natación después de haber realizado la inoculación producía viremias 75 veces mayores, niveles víricos en corazón 1.000 veces mayores y necrosis del tejido cardíaco mucho más severas que en ratones sedentarios control. En ratones forzados a nadar 6 semanas después de la infección con el parásito *Trypanosoma cruzi* se también se observan infiltraciones cardíacas parasitarias más severas y una mortalidad aumentada. Sin embargo, 7 días de natación después de una infección provocada con la bacteria *Francisella tularensis* no parecía tener efecto en la severidad de la enfermedad.

Mientras que el ejercicio físico posterior a una infección frecuentemente va asociado con una mayor susceptibilidad frente a ciertas enfermedades, un ejercicio físico previo a las infecciones inducidas experimentalmente parece conferir resistencia frente a ciertas patologías. En experimentos en los cuales se sometía a ratones a ejercicio físico en tapices rodantes durante 16-18 días antes de la infección inducida por *Salmonella typhimurium* se pudo constatar una mayor supervivencia que en ratones control sedentarios. A resultados similares se ha llegado con tumores. En ratones entrenados en ejercicios de carrera y natación durante 1-8 semanas antes de la implantación tumoral se observó un crecimiento más lento del tumor así como una supervivencia más prolongada después de una inoculación con un tumor ascítico que la observada en ratones control.

Mecanismos inmunológicos de defensa y ejercicio físico

Interferones

Los interferones son un grupo de proteínas naturales producidas por las células del huésped en respuesta a infecciones virales y otro tipo de estímulos. Los interferones ejercen efectos antivíricos que comienzan a las pocas horas de la infección viral y pueden persistir durante días. En un estudio con ocho sujetos no entrenados ha sido descrita una elevación de los niveles de interferones sèrics como consecuencia de una hora de ejercicio submàximo en un ergòmetre de bicicleta. A pesar de que estos cambios inducidos por el ejercicio en los niveles de interferón eran estadísticamente significantes, su magnitud era comparativamente peque-

menys de dues hores. En definitiva, hem de concloure que el canvis en els nivells d'interferó com a conseqüència de l'exercici físic presenten una significació molt petita en la resposta immune de l'individu.

Viti i col.laboradors portaren a terme estudis sobre els nivells d'interferó en sang en 8 homes abans i després d'un exercici físic d'una hora en un ergòmetre de bicicleta a un 70% del seu consum màxim en oxigen ($V_{O_2 \text{màx}}$).

Tal com mostra la Figura 1, el nivell mitjà de glucosa en sang, proteïnes i lípids no varia significativament en relació amb els observats en etapes prèvies a l'exercici.

L'augment moderat en els nivells de lactat en les últimes etapes de l'exercici físic concorda amb l'esperat per a un exercici físic submàxim. Tampoc no es pogué observar hemoconcentració. L'activitat d'interferó augmentava significativament en finalitzar l'exercici i fins una hora després. A continuació descendia fins els nivells previs a l'exercici a les dues hores.

L'augment transitori dels nivells d'interferó en el plasma en els podríem explicar en termes de resposta adequada per augmentar la resposta immunològica, pero de qual-sevol manera no podem obtenir res conclouent.

Limfòcits

Els limfòcits són les cèl.lules primàries de la resposta immunològica. Potser per aquesta raó són el graó més important en la relació entre exercici i funció immune. Diversos estudis han avaluat l'efecte de l'exercici en els nivells de limfòcits sanguinis tot i que les conclusions a què s'ha arribat no solament no són concloents sinó que en alguns casos apunten en direccions contràries. Per a alguns grups d'investigació l'exercici físic augmentaria els nivells de limfòcits, mentre que per a altres aquests nivells romandrien inalterats. Fins i tot estudis preliminars suggereixen que exercicis esgotadors podrien arribar a produir un enfonsament d'aquests nivells. Tot i que l'exercici físic produeix un augment de limfòcits tant T com B, són aquells els que sembla que pateixen una elevació més gran.

Un nombre d'estudis més reduïts han estat capaços d'avaluar la funció limfocitària. Dos grups d'investigació al·legaren un augment en la transformació dels limfòcits com a conseqüència de l'exercici físic; uns altres dos trobaren una disminució i un darrer grup no trobà canvis en aquest paràmetre de funció limfocitària.

El significat clínic (si és que n'hi ha algun) en aquets canvis, en el nombre i la funció dels limfòcits és totalment desconegut. Els pocs estudis que han aprofundit en la cinètica dels canvis de limfòcits sanguinis en atletes suggereixen que les alteracions són transitòries; per tant, podrien no tenir efectes duradors en la funció real de defensa de l'individu.

Com a conseqüència, està obert a debat el fet de si els canvis induïts per l'exercici físic en les

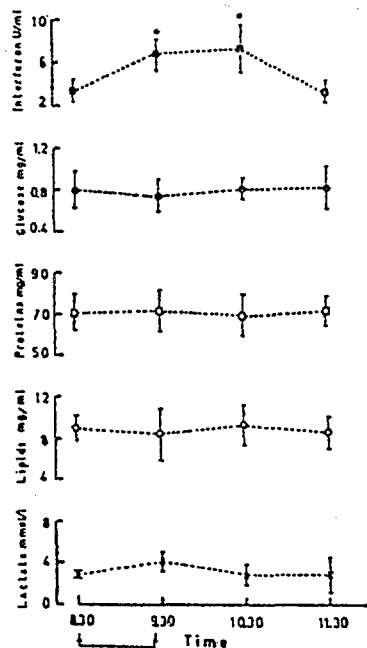
ña ya que una infecció vírica natural produce niveles de interferón de 10 a 20 veces mayores. Además la elevación de los niveles de interferón producida por el ejercicio es muy breve, durante menos de dos horas. En definitiva, cabe concluir que los cambios en los niveles de interferón como consecuencia del ejercicio físico presentan una muy pequeña significación en la respuesta immune del individuo.

Viti y colaboradores llevaron a cabo estudios acerca de los niveles de interferón en sangre en 8 varones antes y después de un ejercicio físico de 1 hora en un ergómetro de bicicleta a un 70% de su consumo máximo en oxígeno ($V_{O_2 \text{máx}}$).

Como muestra la figura 1, el nivel medio de glucosa en sangre, proteínas y lípidos no varían significativamente respecto de los observados en etapas previas al ejercicio.

El moderado aumento en los niveles de lactato en las últimas etapas del ejercicio físico está en concordancia con el esperado para un ejercicio físico submáximo. Tampoco pudo observarse hemoconcentración. La actividad de interferón aumentaba significativamente al finalizar el ejercicio y hasta una hora después. Descendía a

Figura 1. Plasma interferon, glucose, protein, lipid and lactate levels before (8:30) and after exercise. Values are means \pm 8 subjects. Bracketed arrows, time of exercise. Significantly different from resting value ($P < 0,1$). Courtesy of Viti, A., et al.: J. Appl. Physiol. 59: 426-428, August 1985).



subpoblacions de limfòcits circulants alteren d'alguna manera la funció immune o si tenen algun significat fisiològic. Atès que els limfòcits circulants donen compte únicament d'una petita fracció del total dels limfòcits corporals, és possible que els canvis observats en el nombre i els tipus de limfòcits circulants tinguin un efecte molt petit en el conjunt de la resposta immune.

Anticossos

Hi ha pocs estudis centrats en l'efecte produït per l'exercici físic en els nivells d'immunoglobulines sèriques. Els primers estudis, portats a terme en corredors, semblaven apuntar cap a l'existència de nivells comparables als d'altres grups de població. Els nivells observats d'IgA, IgG i IgM són totalment normals en atletes ben entrenats i no sofreixen cap modificació després d'un exercici moderat tant en individus ben entrenats com en individus sense entrenar. D'altra banda, la producció d'IgG en resposta a la toxina tetànica era significativament més gran en corredors injectats 30 minuts després d'una prova de marató que no en els individus sedentaris control, cosa que potser apuntaria a una resposta immunològica augmentada com a conseqüència de l'exercici.

En un estudi posterior foren quantificats els nivells de la immunoglobulina A de secreció en vuit esquiadors alpins de competició. Es pogué demostrar una disminució destacada en la concentració de la IgA salivar i, molt especialment, després d'un esforç extenuant. No s'ha pogut determinar exactament si aquests canvis observats són deguts a l'exposició a temperatures fredes, a l'exercici excessiu o als dos factors a la vegada.

Malgrat la limitació imposada pels estudis realitzats, sembla improbable que els nivells d'immunoglobulines sèriques es vegin afectats de manera significativa per causa de l'exercici físic. De qualsevol manera, a causa de l'heterogeneïtat d'aquests grup de proteïnes, cal portar a terme estudis centrats en cada tipus d'immunoglobulina de manera específica.

En relació amb les variacions observades en els nivells de les IgA, un enfonsament en aquests nivells augmentaria la probabilitat de patir infeccions del tracte respiratori. En realitat, per conèixer exactament el paper que juguen aquestes variacions en el sistema immunològic de l'individu, els estudis s'haurien de realitzar de manera paral·lela entre esports d'hivern i d'estiu.

Sistema del complement

Almenys vint proteïnes de la sang interaccionen en el sistema del complement capaç de protegir enfront d'una infecció gràcies a: 1) opsonització de microorganismes per augmentar la fagocitosis, 2) producció directa de danys en la membrana de

continuación hasta los niveles previos al ejercicio a las 2 horas.

El aumento transitorio de los niveles de interferón en plasma pudiera explicarse en términos de respuesta adecuada para aumentar la respuesta inmunológica, pero de cualquier forma no se puede obtener nada concluyente.

Linfocitos

Los linfocitos son las células primarias de la respuesta inmunológica. Quizá por esta razón, son el eslabón más importante en la relación entre ejercicio y función immune. Diversos estudios han evaluado el efecto del ejercicio en los niveles de linfocitos sanguíneos si bien las conclusiones alcanzadas no sólo no son concluyentes sino que en algunos casos apuntan en direcciones contrarias. Para algunos grupos de investigación el ejercicio físico aumentaría los niveles de linfocitos, mientras que para otros dichos niveles permanecerían inalterados. Incluso estudios preliminares sugieren que ejercicios agotadores pudieran llegar a producir un hundimiento de dichos niveles. Aunque el ejercicio físico produce un aumento de linfocitos tanto T como B, son aquellos los que parecen sufrir una elevación mayor.

Menor número de estudios han sido capaces de evaluar la función linfocitaria. Dos grupos de investigación alegaron un aumento en la transformación de los linfocitos como consecuencia del ejercicio físico, otros dos encontraron una disminución y un último grupo no encontró cambios en este parámetro de función linfocitaria.

El significado clínico (de existir alguno) en estos cambios en el número y función de los linfocitos es totalmente desconocido. Los pocos estudios que han profundizado en la cinética de los cambios de linfocitos sanguíneos en atletas sugieren que las alteraciones son transitorias. Por lo tanto, pudieran no tener efectos duraderos en la función real de defensa del individuo.

En consecuencia, permanece abierto a debate el hecho de si los cambios inducidos por el ejercicio físico en las subpoblaciones de linfocitos circulantes alteran de alguna forma la función immune o si tienen algún significado fisiológico. Puesto que los linfocitos circulantes dan cuenta únicamente de una pequeña fracción del total de los linfocitos corporales, es posible que los cambios observados en el número y tipos de linfocitos circulantes tengan un efecto muy pequeño en el conjunto de la respuesta immune.

Anticuerpos

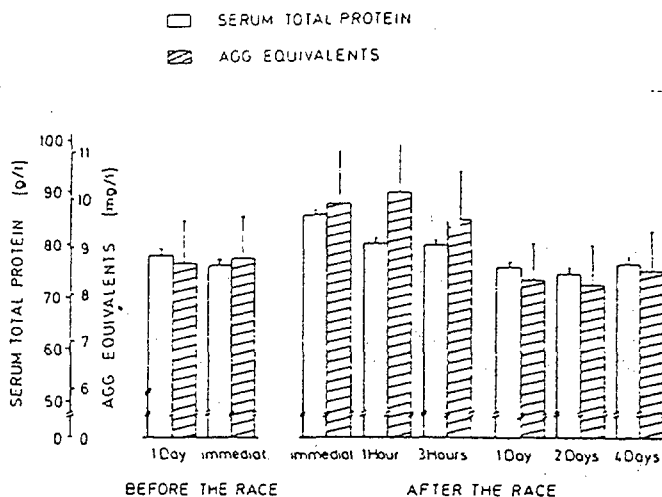
Hay pocos estudios centrados en el efecto producido por el ejercicio físico en los niveles de inmunoglobulinas séricas. Los primeros estudios, llevados a cabo en corredores parecían apuntar hacia la existencia de niveles comparables a los de

bacteris i fongs, 3) estimulació de la quimiotaxi de granulòcits i monòcits, i 4) mediació en la inflamació aguda en l'àrea tissular. Solament dos estudis s'han centrat en els nivells sèrics de proteïnes del complement en atletes, i en els dos casos els nivells trobats són perfectament normals. Es cert que l'exercici moderat en individus no entrenats dóna lloc a un augment moderat en les proteïnes del sistema del complement (14%), però en atletes ben entrenats aquests nivells no sembla que sofreixen variacions, ja sigui mesurats en repòs, immediatament després de l'exercici, o 24 h després de l'exercici. Tot i que les investigacions en aquest sentit han estat portades a terme únicament sobre 26 subjectes, sembla improbable que l'exercici sigui capaç d'induir alteracions importants en allò que es refereix al sistema del complement.

Dufaux i col.laboradors van demostrar que 3 hores d'exercici és un temps suficient per donar lloc a una reacció d'inflamació aguda, amb l'aparició d'immunocomplexos que presumiblement ajudarien a eliminar els productes de destrucció inespecífica de teixits procedents de músculs sotmesos a un gran esforç.

Recorrent a un assaig sòlid d'unió a placa de C_{1q} es pogué quantificar els nivells d'immunocomplexos en sèrum durant les primeres hores i dies després d'una cursa de 3 hores de durada. En aquesta prova participaren 14 mascles moderadament entrenats cobrint una distància de 36.3 Km en tres hores. Foren preses mostres de sang el dia anterior a la prova, immediatament abans, immedia-

Figura 2.



otros grupos de población. Los niveles observados de IgA, IgG e IgM son totalmente normales en atletas bien entrenados y no sufren modificación alguna después de un ejercicio moderado tanto en individuos bien entrenados como en individuos sin entrenar. Por otro lado, la producción de IgG en respuesta a la toxina tetánica era significativamente mayor en corredores inyectados 30 minutos después de una prueba de maratón que en los individuos sedentarios control, lo que quizá apuntaría a una respuesta inmunológica aumentada como consecuencia del ejercicio.

En un estudio posterior se cuantificaron los niveles de la inmunoglobulina A de secreción en ocho esquiadores alpinos de competición. Pudo demostrarse una destacada disminución en la concentración de la IgA salivar y muy especialmente después de un esfuerzo extenuante. No ha podido determinarse con exactitud si estos cambios observados se deben a la exposición a temperaturas frías, al ejercicio excesivo o a ambos factores a la vez.

A pesar de la limitación impuesta por los estudios realizados, parece improbable que los niveles de inmunoglobulinas séricas se vean afectados de forma significativa por causa del ejercicio. De cualquier forma, debido a la heterogeneidad de este grupo de proteínas, se hace necesario llevar a cabo estudios centrados en cada tipo de inmunoglobulina de forma específica.

Respecto de las variaciones observadas en los niveles de las IgA, un hundimiento en dichos niveles aumentaría la probabilidad de sufrir infecciones del tracto respiratorio. Claramente, para conocer con exactitud el papel que juegan estas variaciones en el sistema inmunológico del individuo, los estudios deberían realizarse de forma paralela entre deportes de invierno y de verano.

Sistema del complemento

Al menos veinte proteínas de la sangre interactúan en el sistema del complemento capaz de proteger frente a una infección gracias a¹ opsonización de microorganismos para aumentar la fagocitosis,² producción directa de daños en la membrana de bacterias y hongos,³ estimulación de la quimiotaxis de granulocitos y monocitos y⁴ mediació en la inflamación aguda a nivel tisular. Sólo dos estudios se han centrado en los niveles séricos de proteínas del complemento en atletas, y en ambos casos los niveles encontrados son perfectamente normales. Es cierto que el ejercicio moderado en individuos no entrenados da lugar a un aumento moderado en las proteínas del sistema del complemento (14%), pero en atletas bien entrenados, dichos niveles no parecen sufrir variaciones ya sea medidos en reposo, inmediatamente después del ejercicio o 24 h después del ejercicio. Aunque las investigaciones en este sentido han sido llevadas a

tament després, 1 y 3 hores després i 1, 2 i 4 dies després de la prova.

Tal com s'observa a la Figura 2, quan són comparats amb els nivells totals de proteïna sèrica, els nivells aparents d'immunocomplexos s'eleven significativament 1 i 3 hores després de la prova i disminueixen 1, 2 i 4 hores després. Si es realitza la correcció dels valors d'immunocomplexos per al valor de proteïna total dividint-los entre el quocient proteïna total abans de l'exercici - proteïna total després de l'exercici, s'obtenen elevacions significatives en els nivells d'immunocomplexos tant 1 hora com 3 hores després de la prova, així com una disminució significativa 2 dies després.

El ràpid augment en els nivells d'immunocomplexos observat després de l'exercici prolongat ens el podríem explicar suposant que en l'atleta entrenat existeixen anticossos pre-formats enfront de components estranys apareguts en la sang als quals es podrien unir en els minuts o hores subsegüents a l'alliberació dels antigens.

Leucòcits polimorfonuclears

Els leucòcits polimorfonuclears són crucials en la defensa immune enfront de bacteris piogènics; són els responsables d'ingerir i matar microorganismes invasors. Se sap des de fa ja força temps que l'exercici físic dona lloc a un augment en els nivells sèrics de leucòcits.

Hi ha almenys cinc investigacions que apunten cap a un augment en els nivells de granulòcits com a conseqüència de l'exercici, entre que dos estudis semblen trobar nivells totalment inalterats. L'estudi de la funció granulocítica en atletes es pogué com provar perquè l'activitat tant fagocítica com assassina semblava que era normal en 20 corredors de marató. Tanmateix, hem d'apuntar que les mesures foren realitzades amb els atletes en repòs i fou quan es pogué observar nivells normals.

Malgrat la leucocitosi induïda per l'exercici físic, sembla improbable que els nivells augmentats de granulòcits juguin un paper significatiu en l'augment de la resposta immune de l'individu enfront de la infecció. Alguns grups d'investigadors opinen que la leucocitosi apareguda és totalment transitòria i que els nivells de granulòcits retornen a la normalitat 45 minuts després de l'exercici per pujar de nou a les 2 hores. Aquesta resposta bifàsica podria ser causada per dos mecanismes ben diferenciats: una resposta immediata mediada per catecolamines i una de posterior mediada per factors desconeguts.

Infeccions característiques dels atletes

Infeccions de la pell: les infeccions de la pell són relativament freqüents en persones que realitzen exercici físic regularment. La macedració permeten la infecció per part de dermatòfits superficials. Aquests fongs no viuen lliurement en la naturalesa però sí que són capaços d'estendre's de persona a persona; per tant, els vestuaris com-

cabo únicament sobre 26 subjectes, parece improbable que el exercici sea capaç de inducir alteracions importants en cuanto al sistema del complemento se refiere.

Dufaux y colaboradores demostraron que 3 horas de ejercicio es tiempo suficiente para dar lugar a una reacción de inflamación aguda, con la aparición de inmunocomplejos que presumiblemente ayudarían a eliminar los productos de destrucción inespecífica de tejidos procedentes de músculos sometidos a un gran esfuerzo.

Recurriendo a un ensayo sólido de unión a placa de C_{1q} se pudo cuantificar los niveles de inmunocomplejos en suero durante las primeras horas y días después de una carrera de 3 horas de duración. En dicha prueba participaron catorce varones moderadamente entrenados cubriendo una distancia de 36.3 Km en tres horas. Se tomaron muestras de sangre el día anterior a la prueba, inmediatamente antes, inmediatamente después, 1 y 3 horas después y 1, 2 y 4 días después de la prueba.

Como se observa en Figura 2, cuando se comparan con los niveles totales de proteina sérica, los niveles aparentes de inmunocomplejos se elevan significativamente 1 y 3 horas después de la prueba y disminuyen 1, 2 y 4 días después. Si se realiza la corrección de los valores de inmunocomplejos para el valor de proteina total dividiéndolos entre el cociente proteina total antes del ejercicio - proteina total antes del ejercicio se obtienen elevaciones significativas en los niveles de inmunocomplejos tanto 1 hora como 3 horas después de la prueba así como una disminución significativa 2 días después.

El rápido aumento en los niveles de inmunocomplejos observado después del ejercicio prolongado podría explicarse suponiendo que en el atleta entrenado existen anticuerpos preformados frente a componentes extraños aparecidos en la sangre a los que podrían unirse en los minutos u horas subsiguientes a la liberación de los antígenos.

Leucocitos polimorfonucleares

Los leucocitos polimorfonucleares son cruciales en la defensa immune frente a bacterias piogénicas; son los responsables de ingerir y matar microorganismos invasores. Se sabe desde hace ya bastante tiempo que el ejercicio físico da lugar a un aumento en los niveles sèricos de leucocitos.

Hay por lo menos cinco investigaciones que apuntan hacia un aumento en los niveles de granulocitos como consecuencia del ejercicio, mientras que dos estudios parecen encontrar niveles totalmente inalterados. El estudio de la función granulocítica en atletas se pudo comprobar que la actividad tanto fagocítica como asesina parecía ser normal en 20 corredores de marató. Hay que apuntar, sin embargo, que las medidas se realizaron con los atletas en reposo y fue cuando se pudo observar niveles normales.

A pesar de la leucocitosis inducida por el ejercicio físico, parece improbable que los niveles aumentados de granulocitos jueguen un papel significativo en el aumento de la respuesta immune del individuo frente a la infecció. Algunos grupos de

partits faciliten molt l'extensió d'aquestes infeccions. Tot i la freqüència amb què apareixen aquest tipus d'infeccions, sovint afecten únicament la capa superficial de l'epidermis i rarament donen lloc a patologies d'una certa serietat. Això no obstant, aquestes malalties de la pell poden suposar un focus d'infeccions bacterianes, cosa per la qual no és aconsellable demorar el seu tractament.

Entre les malalties de la pell més freqüents que presenten els atletes hi ha:

- Infeccions bacterianes: acostumen a aparèixer com a conseqüència de petites ferides de la pell, com ara abrasions o raspadures.
- Cel·lulitis: la cel·lulitis fa referència a l'àrea enrogida al voltant d'una ferida i indica una probable extensió d'una infecció de la pell. La infecció es pot estendre amb més rapidesa en el cas de veure-s'hi envoltats els nòduls limfàtics o els canals limfàtics. Per exemple, són freqüents les franjes roges al llarg de braços i cames acompanyades de l'engruiximent dels nòduls limfàtics de les axelles. Tot i que la cel·lulitis és una malaltia que no apareix amb gaire freqüència en els atletes, sí que requereix una teràpia d'antibiòtics per via parenteral i altres tractaments secundaris, com ara el repòs. Fins a la remissió de la malaltia no és possible la reanudació de l'exercici.
- Impetigen: l'impetigen és una infecció superficial de la pell causada per bacteris estafilocòccics o estreptocòccis. Sovint produeix llagues a la cara i en el tors amb crostes de color de mel. És altament contagiós i es transmet entre atletes per contacte directe o per tovalloles infectades o altres materials.

Mononucleosi infecciosa: és una malaltia freqüent entre adults joves produïda pel virus d'Epstein-Barr i transmesa entre individus per la boca o pel tracte respiratori, per contacte personal íntim o per inhalació de partícules virals. Sortosament, no es tracta d'una malaltia excessivament contagiosa, cosa per la qual altres membres de la família de la persona afectada o companys d'habitació no acostumen a contraure la malaltia. El seu període d'incubació és de diverses setmanes.

Un esportista que presenti una mononucleosi infecciosa és estrany que presenti disposició a realitzar exercici físic si té limfoadenopatia, febre, faringitis i fatiga. Per tant, no es recomana tornar a qualsevol tipus d'activitat física mentre persisteixin els símptomes de la malaltia. Un problema addicional suposa l'esplenomegàlia que presenten alguns dels individus afectats per la mononucleosi, d'una manera tal que cal evitar els esports de contacte davant un possible espetec de la melsa.

Alguns autors no recomanen que el pacient facili el transcurs normal de la malaltia. De fet, una estada prolongada en repòs podria donar lloc a una fatiga addicional fins i tot després de la infecció vírica. Un cert nombre de les anomenades mo-

investigadores son de la opinió de que la leucocitosis aparecida es sólo transitoria y que los niveles de granulocitos retornan a la normalidad 45 minutos después del ejercicio para subir de nuevo a las 2 horas. Esta respuesta bifásica pudiera deberse a dos mecanismos bien diferenciados: una respuesta inmediata medida por catecolaminas y una posterior mediada por factores desconocidos.

Infecciones características de los atletas

Infecciones de la piel: las infecciones de la piel son relativamente frecuentes en personas que realizan ejercicio físico regularmente. La humedad y la maceración permiten la infección por parte de dermatofitos superficiales. Estos hongos no viven libremente en la naturaleza, pero sí son capaces de entenderse de persona a persona; por lo tanto, los vestuarios compartidos facilitan en gran medida la extensión de estas infecciones. A pesar de la frecuencia con la que aparecen este tipo de infecciones, a menudo afectan únicamente la capa superficial de la epidermis y muy rara vez dan lugar a patologías de cierta seriedad. Sin embargo, estas enfermedades de la piel pueden suponer un foco de infecciones bacterianas, por lo que no suele ser aconsejable demorar su tratamiento.

Entre las enfermedades de la piel más frecuentes que presentan los atletas se encuentran:

- Infecciones bacterianas: suelen aparecer como consecuencia de pequeñas heridas de la piel, tales como abrasiones o raspaduras.
- Celulitis: la celulitis hace referencia al área enrojecida alrededor de una herida e indica una probable extensión de una infección de la piel. La infección puede extenderse con mayor rapidez en el caso de verse envueltos los nódulos linfáticos o los canales linfáticos. Por ejemplo, son frecuentes las franjas rojas a lo largo de brazos y piernas acompañadas del engrosamiento de los nódulos linfáticos de las axilas. A pesar de que la celulitis es una enfermedad que no aparece con una gran frecuencia en los atletas, sí requiere terapia de antibióticos por vía parenteral y otros tratamientos secundarios, tales como el reposo. Hasta la remisión de la enfermedad no es posible la reanudación del ejercicio.
- Impétigo: el impétigo es una infección superficial de la piel causada por bacterias estafilocócicas o estreptocócicas. A menudo produce llagas en la cara y en el torso con costras de color meloso. Es altamente contagioso y se transmite entre atletas por contacto directo o por toallas infectadas u otros materiales.

Mononucleosis infecciosa: es una enfermedad frecuente entre adultos jóvenes producida por el virus de Epstein-Barr y transmitida entre individuos

nonucleosis infeccioses cròniques podrien ser degudes a la indisposició pròpia del repòs prolongar aconsellat pel metge. L'astènia i altres símptomes típics de la malaltia remetent gradualment així que l'esportista es va incorporant progressivament a l'activitat física i així que el cos i l'ànim li ho van permetent. Com a terme mitjà, la majoria d'atletes no tornen als entrenaments fins 3 o 4 setmanes després de l'aparició de la malaltia.

Infeccions respiratòries: la seva freqüència no acostuma a ser diferent entre esportistes i persones sedentàries, ni tan sols en practicantss d'esports com ara l'esquí, en els quals l'exposició al fred disminuiria suposadament la resistència davant de processos infecciosos.

- El refredat comú és una malaltia vírica que afecta el tracte respiratori superior donant lloc a inflamacions i a secreció de fluids. La simptomatologia inclou esternuts, mocs, molèsties a la faringe, tos, ronquera, etc., sovint acompanyats de debilitat i, rarament, de febre.

Generalment, les infeccions respiratòries del tracte superior no requereixen interrupció dels plans d'entrenament. De fet, en alguns individus apareixen millores en els símptomes, probablement a causa de l'augment de fluids mucosos, augment associat a l'exercici. Cal tenir precaució amb els remeis casolans per al tractament d'aquest tipus de patologies, ja que molts d'ells tenen agents simpaticomimètics. Aquest tipus de substàncies no solament poden donar lloc a taquicàrdies sinó que poden arribar a suposar controls antidopatge positius en esportistes d'elit. Aquest és també el cas d'algunes píndoles descongestionants o de polvoritzadors que posseeixen estimulants del tipus de l'epinefrina.

Hi ha un gran nombre d'esportistes que ignoren aquest tipus d'afeccions i continuen realitzant exercicis físics de tota mena. Un atleta no hauria de participar en cap prova fins a la desaparició completa de la febre i els símptomes d'infecció. A més, un gran nombre d'antihistamínics utilitzats en el tractament de refredats donen lloc a somnolència, disminuint d'aquesta manera el rendiment esportiu.

- Pel que fa a esportistes que tenen infeccions del tracte respiratori inferior (broncospasmes, etc...), la pràctica d'alguns exercicis físics, especialment en climes freds, pot augmentar de manera considerable les patologies associades. Per aquesta raó, sembla prudent la no reanudació d'activitats físiques fins a la total recuperació.

Infeccions en l'oïda: aquesta mena d'infeccions són freqüents entre nedadors i apareixen com a conseqüència de la manifestació de bacteris capaços de multiplicar-se en la humitat dels canals de l'oïda. Com a resultat d'aquestes infeccions, sorgeixen dolors freqüents, sent de més intensitat en el cartílag de l'orella. El propi canal pot aparèixer inflammat o fins i tot presentar exsudats.

por la boca o por el tracto respiratorio, por contacto personal íntimo o por inhalación de partículas virales. Afortunadamente, no se trata de una enfermedad excesivamente contagiosa, por lo que otros miembros de la familia de la persona afectada o compañeros de habitación no suelen contraer la enfermedad. Su período de incubación es de varias semanas.

Un deportista que presente una mononucleosis infecciosa raro será que presente disposición a realizar ejercicio físico si posee linfadenopatía, fiebre, faringitis, y fatiga. Por lo tanto, no se recomienda la vuelta a cualquier tipo de actividad física mientras persistan los síntomas de la enfermedad. Un problema adicional supone la esplenomegalia que presentan algunos de los individuos afectados por la mononucleosis, de tal forma que deben evitarse los deportes de contacto ante un posible estallido del bazo.

Algunos autores no recomiendan la permanencia del paciente en cama en el transcurso normal de la enfermedad. De hecho, una estancia prolongada en reposo pudiera dar lugar a una fatiga adicional incluso después de la infección vírica. Un cierto número de las denominadas mononucleosis infecciosas crónicas bien pudieran deberse a la indisposición propia del reposo prolongado aconsejado por el médico. La astenia y otros síntomas típicos de la enfermedad van remitiendo conforme el deportista se va incorporando progresivamente a la actividad física y conforme su cuerpo y su ánimo se lo van permitiendo. Como término medio, la mayoría de los atletas no vuelven a sus entrenamientos hasta 3 o 4 semanas después de la aparición de la enfermedad.

Infecciones respiratorias: su frecuencia no suele ser diferente entre deportistas y personas sedentarias ni siquiera en practicantes de deportes tales como el esquí, en los que la exposición al frío supuestamente disminuiría la resistencia frente a procesos infecciosos.

- El resfriado común es una enfermedad vírica que afecta al tracto respiratorio superior dando lugar a inflamaciones y a secreción de fluidos. La sintomatología incluye estornudos, moqueo, molestias en la faringue, tos, ronquera, etc., frecuentemente acompañados de debilidad y rara vez de fiebre.

En general, las infecciones respiratorias del tracto superior no requieren interrupción de los planes de entrenamiento. De hecho, en algunos individuos aparecen mejoras en los síntomas, probablemente debido al aumento de fluidos mucosos asociado al ejercicio. Debe tenerse precaución en lo referente a los remedios caseros para el tratamiento de este tipo de patologías, ya que muchos de ellos poseen agentes simpaticomiméticos. Este tipo de sustancias no sólo pueden dar lugar a taquicardias sino que pueden llegar a suponer controles antidopaje positivos en deportistas de élite.

Segui com sigui, és molt senzill evitar l'aparició de totes aquestes patologies recurrent a la utilització de taps o de dissolucions alcohòliques de les que s'utilitzen per afavorir l'eliminació de la humitat després de la natació en piscina.

Conclusions

L'exercici físic produeix un gran varietat de canvis en els paràmetres immunològics que no han estat completament dilucidats. A causa tant de la complexitat de tots els mecanismes de defensa com a la complexitat de la fisiologia de l'exercici, cal aprofundir molt més en tots aquests aspectes. D'altra banda, queda per establir si els canvis immunològics a curt termini que apareixen com a conseqüència de l'exercici físic, tenen algun significat en la resposta immune a més llarg termini.

El terme "exercici" sovint és utilitzat per descriure qualsevol tipus d'activitat física. Les respostes fisiològiques enfront de l'exercici depenen de diverses variables: 1) el tipus, la intensitat i la durada de l'exercici; 2) l'edat de l'esportista i el seu estat d'entrenament; i, 3) les condicions de l'entorn. D'altra banda, és important discriminar entre els efectes de l'exercici i els produïts per la fatiga. Per exemple, un exercici submàxim és més fatigós en una competició esportiva que en una comprovació en un laboratori. Ja que està perfectament demostrat el paper modulador que juga la fatiga en la funció immune, és vital realitzar una interpretació curiosa de les variacions de qualsevol paràmetre per tal de diferenciar perfectament entre els efectes produïts per la fatiga i els produïts per l'exercici. Malauradament, aquesta diferenciació no sempre es pot portar a terme amb facilitat.

En molts casos, exercici i fatiga actuen en direccions oposades en el sistema immune. Per exemple, els nivells d'"assassins naturals" augmenten com a conseqüència d'un exercici moderat, mentre que la fatiga indueix la seva disminució. Després de l'exercici físic té lloc un augment considerable en el nombre de cèl.lules B i un augment menor en el nombre de cèl.lules T, mentre que en una situació de fatiga els nivells de cèl.lules T disminueixen dramàticament i els de cèl.lules B en menor mesura. Generalment, l'exercici físic moderat augmenta de manera global la resposta immunològica, mentre que la fatiga la disminueix. El fet que l'exercici i la fatiga donin lloc a respostes tan diferents apunta cap a l'existència de mecanismes i interaccions estímulo-específics, en els quals probablement es vegin envoltades el mateix tipus de molècules.

En aquest moment, qualsevol comparació de les dades assolides pels diferents estudis és difícil perquè s'estableixin, en base a distints protocols i distintes tècniques experimentals. Caldria recórrer a estudis paral·lels correlacionant la funció immune

Este también es el caso de algunas píldoras descongestionantes o de pulverizadores que poseen estimulantes del tipo de la epinefrina.

Hay un gran número de deportistas que ignoran este tipo de afecciones y continúan realizando ejercicios físicos de todo tipo. Un atleta no debería participar en prueba alguna hasta la desaparición completa de la fiebre y de los síntomas de infección. Además, un gran número de antihistamínicos utilizados en el tratamiento de resfriados dan lugar a somnolencia, disminuyendo de esta forma el rendimiento deportivo.

- En lo referente a deportistas que poseen infecciones del tracto respiratorio inferior (broncoespasmos, etc...) la práctica de algunos ejercicios físicos, especialmente en climas fríos, puede aumentar de forma considerable las patologías asociadas. Por esta razón, parece prudente la no reanudación de actividades físicas hasta la total recuperación.

Infecciones en los oídos: este tipo de infecciones son frecuentes entre nadadores y aparecen como consecuencia de la aparición de bacterias capaces de multiplicarse en la humedad de los canales del oído. Como resultado de estas infecciones, surgen dolores frecuentes, siendo de mayor intensidad en el cartílago de la oreja. El propio canal puede aparecer inflamado o incluso presentar exudados.

De cualquier forma, es muy sencillo evitar la aparición de todas estas patologías recurriendo a la utilización de tapones o de disoluciones alcohólicas de las que se utilizan para favorecer la eliminación de la humedad después de la natación en piscina.

Conclusiones

El ejercicio físico produce una gran variedad de cambios en los parámetros inmunológicos que no han sido completamente dilucidados. Debido tanto a la complejidad de todos los mecanismos de defensa como a la complejidad de la fisiología del ejercicio, se hace necesario profundizar mucho más en todos esos aspectos. Por otro lado, queda por establecer si los cambios inmunológicos a corto plazo que aparecen como consecuencia del ejercicio físico tienen algún significado en la respuesta immune a más largo plazo.

El término "ejercicio" a menudo se utiliza para describir cualquier tipo de actividad física. Las respuestas fisiológicas frente al ejercicio dependen de diversas variables: 1) el tipo, intensidad y duración del ejercicio; 2) la edad del deportista y su estado de entrenamiento; y 3) las condiciones del entorno. Por otro lado, es importante discriminar entre los efectos del ejercicio y los producidos por el estrés. Por ejemplo, un ejercicio submáximo es más estresante en un individuo desentrenado que en uno

i l'activitat física. La utilització de diferents intensitats físiques i diferents temps d'exercici en individus que presenten un grau distint d'entrenament podria subministrar un bon nombre de dades fiables que permetessin discernir entre els efectes de la fatiga i els produïts per l'activitat física. Conèixer la relació existent entre intensitat i durada de l'exercici i funció immune seria d'un gran interès per a milions de persones que participen assíduament en programes d'activitat física i, el que encara és més important, el coneixement de la interacció existent entre exercici i fatiga, així com el seu efecte combinat en el sistema immune seria d'una gran importància per a aquells atletes que participen en proves d'alta competició en les quals ambdós factors estarien presents.

La majoria dels estudis que han estat descrits prèviament s'han portat a terme caracteritzant la resposta immune que presenten individus mascles i joves enfront de l'exercici físic. Romandria per tant un ampli camp per estudiar, que inclouria altres grups de població com ara dones, infants, persones d'edat més avançada o pacients amb malalties cròniques.

D'altra banda, si l'exercici físic moderat augmentés la funció immune, nivells adequats d'exercici tindrien un interessant paper terapèutic a l'hora de contrarestar, per exemple, la immunosupressió característica dels ancians disminuint d'alguna manera l'aparició de malalties característiques de les edats avançades, com ara el càncer.

Els estudis que apunten la variació de diversos paràmetres característics de l'estat immunològic d'un organisme com a conseqüència de l'exercici físic són molts i molt diversos, però fins a la data cap estudi no ha estat capaç de demostrar, per aquest motiu, un augment en la resistència davant la infecció. Hi ha diversos casos anecdòtics de respostes immunes augmentades com a conseqüència de l'exercici físic moderat, però també ha demostrat ser cert que un entrenament excessiu porta a una major susceptibilitat davant les infeccions. Certament, és necessari aprofundir en tots aquests aspectes, i no solament d'una manera global sinó també dins el camp subcel·lular per caracteritzar els canvis produïts en els diferents missatgers i moduladors del sistema immunològic.

Finalment, cal destacar que un aspecte que també presenta un gran interès seria el seguiment dels nivells dels diferents factors immunoreguladors com a conseqüència de l'exercici físic. Aquí caldria considerar variacions en els nivells de prostaglandines, nucleòtids cíclics, limfocines (interleucina-2, per exemple), factors de creixement i diferenciació de cèl·lules B, i receptors de superfície per a limfocines en els limfòcits, així com l'activitat integrada dels diversos subtipus de cèl·lules limfoides.

entrenado, y un ejercicio al máximo es más estresante en una competición deportiva que en una comprobación en un laboratorio. Puesto que está perfectamente demostrado el papel modulador que juega el estrés en la función inmune, es vital realizar una interpretación cuidadosa de las variaciones de cualquier parámetro en orden a diferenciar perfectamente entre los efectos producidos por el estrés y los producidos por el ejercicio. Desgraciadamente, esta diferenciación no siempre puede llevarse a cabo con facilidad.

En muchos casos, ejercicio y estrés actúan en direcciones opuestas en el sistema inmune. Por ejemplo, los niveles de "asesinos naturales" aumentan como consecuencia de un ejercicio moderado, mientras que el estrés induce su disminución. Después del ejercicio físico tiene lugar un aumento considerable en el número de células B y un aumento menor en el número de células T, mientras que en una situación de estrés los niveles de células T disminuyen dramáticamente y los de células B en menor medida. En general, el ejercicio físico moderado aumenta de forma global la respuesta inmunológica, mientras que el estrés la disminuye. El hecho de que el ejercicio y el estrés den lugar a respuestas tan diferentes apunta hacia la existencia de mecanismos e interacciones estímulo-específicos, en los que probablemente se vean envueltas el mismo tipo de moléculas.

En este momento, cualquier comparación de los datos alcanzados por los diferentes estudios es difícil debido a que se establecen en base a diferentes individuos, diferentes protocolos y diferentes técnicas experimentales. Sería necesario recurrir a estudios paralelos correlacionando la función inmune y la actividad física. La utilización de diferentes intensidades físicas y diferentes tiempos de ejercicio en individuos que presentan un grado distinto de entrenamiento podría suministrar un buen número de datos fiables que permitieran discernir entre los efectos del estrés y los producidos por la actividad física. El conocer la relación existente entre intensidad y duración del ejercicio y función inmune sería de gran interés para millones de personas que participan con asiduidad en programas de actividad física, y lo que es aún más importante, el conocimiento de la interacción existente entre ejercicio y estrés, así como su efecto combinado en el sistema inmune sería de gran importancia para aquellos atletas que participan en pruebas de alta competición en las que ambos factores estarían presentes.

La mayoría de los estudios que se han descrito previamente se han llevado a cabo caracterizando la respuesta immune que presentan individuos varones y jóvenes frente al ejercicio físico. Permanecería por lo tanto un amplio campo por estudiar, que incluiría a otros grupos de población tales como mujeres, niños, personas de más avanzada edad o pacientes con enfermedades crónicas.

Por otro lado, si el ejercicio físico moderado aumentase la función inmune, niveles adecuados de ejercicio tendrían un interesante papel terapéutico a la hora de contrarrestar por ejemplo la inmunosupresión característica de los ancianos disminuyendo de alguna forma la aparición de enfermedades tales como el cáncer, características de edades avanzadas.

Son muchos y muy diversos los estudios que apuntan la variación de diversos parámetros característicos del estado inmunológico de un organismo como consecuencia del ejercicio físico, pero hasta la fecha ningún estudio ha sido capaz de demostrar un aumento en la resistencia frente a la infección por este motivo. Hay diversos casos anecdóticos de respuestas inmunes aumentadas como consecuencia del ejercicio físico moderado, pero también ha demostrado ser cierto que un entrenamiento excesivo conduce a una mayor susceptibilidad frente a las infecciones. Ciertamente es necesario profundizar en todos estos aspectos, y no sólo a un nivel global sino también a un nivel subcelular para caracterizar los cambios producidos en los diferentes mensajeros y moduladores del sistema inmunológico.

Por último, hay que destacar que un aspecto que también presenta un gran interés sería el seguimiento de los niveles de los diferentes factores inmunoreguladores como consecuencia del ejercicio físico. Aquí cabría considerar variaciones en los niveles de prostaglandinas, nucleótidos cíclicos, linfoquinas (interleuquina-2, por ejemplo), factores de crecimiento y diferenciación de células B, y receptores de superficie para linfoquinas en los linfocitos, así como la actividad integrada de los diversos subtipos de células linfoides.

Bibliografía

Llibres:

Sports Medicine. Fitness-Training-Injuries (Third Edition). Ed. Otto Appenzeller, M.D. PhD. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. Cap. 17. The Olympic Book of Sports Medicine. Blackwell scientific publications. Vol. 1 Cap. 12.5.

Articles:

DUFAUX, B.; MÜLLER, R.; HOLLMAN, W.: "Assesment of Circulating Immune Complexes by a Solid-Phase C_{1q}-binding assay during the first hours and days after prolonged exercise". *Clin. Chim. Acta.* 145: 313-317, 1985.
SIMON, H.B.: "Exercise and Infection" *Physician Sports-mend* 15 (10), 134-141, 1987.
VITI, A.; MUSCETTOLA, M.; PAULESI, L.; BOCCI, V.; ALMI, A.: "Effect of Exercise on plasma interferon levels". *J. Appl. Physiol.* 59: 426-428, 1985.

