

Bewegung als Schutzfaktor für das Immunsystem

Vertrags-Id. / Aktenzeichen 142004741 / 321.4-4/51/1

Auftraggeberin

Poffet Andrea
Sektion wissenschaftliche Grundlagen
Bundesamt für Gesundheit BAG
3003 Bern
E-Mail: andrea.poffet@bag.admin.ch

Auftragnehmer

Prof. Dr. Claudio R. Nigg
Abteilung Gesundheitswissenschaft
Institut für Sportwissenschaft
Universität Bern
Schweiz
E-Mail: claudio.nigg@unibe.ch

In Zusammenarbeit mit Julia Schmid, Claudia Kubica, Sascha Ketelhut, Sandra Schnegg, Franziska Gurschler, Dario Breitenmoser, Dario Querciagrossa, Patrick Zimmermann, und Marc von Gernler

Inhaltsverzeichnis

1.	Abkürzungsverzeichnis und Glossar	4
1.1	Abkürzungsverzeichnis	4
1.2	Glossar	4
2.	Zusammenfassung (Deutsch, Französisch, Italienisch, Englisch)	8
2.1	Zusammenfassung	8
2.2	Résumé	9
2.3	Riepilogo	10
2.4	Summary	11
3.	Einleitung	12
3.1	Bewegung/körperliche Aktivität (kA)	12
3.2	Das Immunsystem	14
3.3	Zusammenhang von kA und dem Immunsystem	19
4.	Literatursuche – Strategie	19
5.	Hypothesen	20
5.1	kA stärkt die Immunabwehr	20
5.1.1	Zellzahl der weissen Blutkörperchen	20
5.1.2	Bewegung als Schutzfaktor für COVID-19 und allgemeine Atemwegserkrankungen	22
5.1.3	Bewegung als Schutzfaktor für Grippe & Erkältung	24
5.1.4	Bewegung hat eine Auswirkung auf den Stoffwechsel/Metabolismus	26
5.1.5	Regelmässige Bewegung & Stress	26
5.1.6	Ein körperlich aktiver Lebensstil ist in jedem Alter gut für das Immunsystem	27
5.2	Welche Art der Intensität von Bewegung ist gut für das Immunsystem	29
5.2.1	Genügend und moderate Bewegung ist gut für das Immunsystem	29
5.2.2	Leichte kA ist gut für das Immunsystem	30
5.2.3	Unmittelbar nach dem intensiven Sport kann das Abwehrsystem geschwächt sein - Gesunde Balance zwischen Training und Regeneration erzielt die beste Wirkung	31
5.3	Äussere Faktoren	33
5.3.1	Bewegung draussen in der Natur und bei Tageslicht: Vitamin D- Bildung	33
5.3.2	Bewegung draussen: Luftzusammensetzung	33
5.3.3	Sport bei Kälte/Hitze	35

6.	Schlussfolgerungen	37
7.	Infografik	40
8.	Literaturverzeichnis	41
9.	Anhang – Suchstrategie Beispiel	48

1. Abkürzungsverzeichnis und Glossar

1.1 Abkürzungsverzeichnis

HF _{max}	maximale Herzfrequenz
kA	körperliche Aktivität
MBI	Mind-Body-Intervention
MTB	Mind-Body Therapien
NK	natürliche Killerzellen
T-Zellen	T-Lymphozyten
TH-1	T-Helferzellen 1
TH-2	T-Helferzellen 2
VO ₂ max	maximale Sauerstoffaufnahme
WHO	World Health Organization

1.2 Glossar

Begriff	Definition
<u>Aerob:</u>	Energiebereitstellung/Energiegewinnung durch Verbrennung mit Sauerstoff
<u>Anaerob:</u>	Energiebereitstellung/Energiegewinnung durch Verbrennung ohne Sauerstoff
<u>Apoptose:</u>	Programmierter Zelltod (=“Selbsterstörung“) von unterschiedlichen Zellen
<u>Äusseres Schutzsystem:</u>	Schützt Körper vor dem Eindringen von Krankheitserreger (z.B. Haut, Schleimhäute, Flimmerhärchen, etc.)
<u>B-Lymphozyten:</u>	Für Produktion von Abwehrstoffen, den sogenannten Antikörpern, zuständig
<u>Bewegung/körperliche Aktivität (kA)</u>	Bewegung die durch die Skelettmuskulatur erzeugt wird und den Energieverbrauch über den Grundumsatz (Energiebedarf in Ruhe) anhebt
<u>Bewegungsnormative:</u>	Intensität, Dauer und Häufigkeit

<u>Borgskala:</u>	Skala für subjektives Belastungsempfinden
<u>Cortisol:</u>	Wichtiges Stresshormon, beeinflusst das Zirkulationsverhalten von neutrophilen Granulozyten und hindert diese daran, an den entzündlich veränderten Gewebeort auszuwandern
<u>Endocannabinoide:</u>	Neurotransmitter, unterstützen Produktion von Zytokinen und weiteren Botenstoffen
<u>Granulozyten:</u>	Weisse Blutzellen, Hauptfunktion ist das Auflösen und unschädlich machen von Fremdstoffen, werden unterteilt in neutrophile Granulozyten, Eosinophile und Basophile
<u>Grundumsatz:</u>	Energiebedarf in Ruhe
<u>Immunglobulin A (IgA):</u>	Wichtige Antikörperklasse in äusseren Sekreten wie Speichel, Tränen und Schleim
<u>Immunglobulin G (IgG):</u>	Antikörper im Blutserum
<u>Immunoseneszenz:</u>	Allmähliches Nachlassen der Leistungsfähigkeit des Immunsystems mit zunehmendem Lebensalter
<u>Innere Immunsystem:</u>	Bekämpft die Krankheitserreger im Körperinneren
<u>Infektionserreger:</u>	Verursachen Infektionen (Bakterien, Viren, Pilze, Parasiten, Prionen)
<u>Intensität:</u>	In Relation (%) zu maximaler Herzfrequenz HF _{max} oder maximaler Sauerstoffaufnahme VO _{2max} <ul style="list-style-type: none"> - Leicht: 60-70% HF_{max}, 65-70%, VO_{2max} - Moderat: 70-80% HF_{max}, 70-85% VO_{2max} - Intensiv: 80-90% HF_{max}, 85-95% VO_{2max} - Hochintensiv: >90% HF_{max}, >95% VO_{2max}
<u>Interleukine:</u>	Botenstoffe der Zellen des Immunsystem

<u>Katecholamine:</u>	Verschiedene Stresshormone wie Adrenalin, Noradrenalin und Dopamin. Neurotransmitter des sympathischen Nervensystems
<u>Kognitive Fähigkeiten:</u>	Vorgänge hinsichtlich geistiger Wahrnehmung und Denkprozessen (z.B. Wahrnehmung über Sinnesorgane, Nachdenken, Speichern von Informationen, etc.)
<u>Leukozyten</u>	Fachbegriff für die weissen Blutkörperchen. Dazu gehören die Granulozyten, Lymphozyten und Monozyten
<u>Lymphozyten:</u>	Untergruppe von weissen Blutkörperchen (Leukozyten), dazu zählen B-Lymphozyten, T-Lymphozyten, CD4-Zellen und natürliche Killerzellen
<u>Metabolismus:</u>	Aufnahme, Transport und die chemische Umwandlung von Stoffen in einem Organismus sowie die Abgabe von Stoffwechselendprodukten an die Umgebung
<u>Monozyten und Makrophagen:</u>	Monozyten gehören zur Gruppe der weissen Blutkörperchen (Leukozyten). Zirkulieren im Blut und beim Verlassen des Blutkreislaufs und Eintritt in das Gewebe entwickeln sie sich zu Makrophagen. Aufgabe von Monozyten und Makrophagen ist die Phagozytose und Produktion von Zytokinen
<u>Natürliche Killerzellen (NK):</u>	Lösen bei der Zielzelle (z. B. Fremdkörper) einen Zelltod aus
<u>Oxylipine:</u>	Fettsäuren, die verschiedene Signalaufgaben in physiologischen und pathophysiologischen Prozessen übernehmen, z.B. Regelung von entzündungsfördernden und entzündungshemmenden Prozessen.
<u>Phagozyten:</u>	Überbegriff der Fresszellen, führen zu Phagozytose, werden grob unterteilt in 3 Unterklassen Monozyten & Makrophagen, Granulozyten und dendritische Zellen
<u>Phagozytose:</u>	Auflösung bzw. Unschädlichmachung von Fremdstoffen im Organismus
<u>Physiologische Barrieren:</u>	Schützen den Körper (z.B. Haut, Schleimhaut, Flimmerhärchen in Luftwegen)

<u>Pro-/anti-inflammatorische Marker:</u>	<p><u>Pro:</u> entzündungsfördernde Signalmoleküle, die bei einer Entzündung freigesetzt werden</p> <p><u>Anti:</u> Entzündungshemmende Signalmoleküle als Reaktion auf pro-inflammatorische Marker, dienen dazu, die Reaktionsfähigkeit von angeborenen und/oder adaptiven Immunzellen herunterzuregulieren oder entzündungsfördernde Marker selbst zu inaktivieren (sTNFr, IL-1ra)</p>
<u>Skelettmuskulatur:</u>	Muskeln, die für Körperbewegungen zuständig sind
<u>Spezifisches Immunsystem:</u>	Erworbene Immunantwort, speziell auf den Eindringling zugeschnittene Immunantwort (erworbene Immunität)
<u>T-Helferzellen:</u>	Leiten nach Erkennung eines Antigens eine entsprechende Immunantwort ein
<u>T- Lymphozyten:</u>	Erkennen Antigene (körperfremde Strukturen)
<u>Unspezifisches Immunsystem:</u>	Teil des körpereigenen Immunsystems, der von Geburt an vorhanden ist (angeborene Immunität)
<u>Vitamin D:</u>	Regt die Produktion von Makrophagen an, erhöht die Aktivität von natürlichen Killer (NK)-Zellen, moduliert die Reaktion der Immunzellen, sodass diese schneller zum Infektionsherd gelangen
<u>Zelltod:</u>	Ereignis, das zum Erlöschen der Funktionen der Zelle führt
<u>Zytokinen:</u>	Proteine, die eine wichtige Rolle bei der Koordination des Immunsystem spielen und für das Wachstum und die Spezialisierung der Zellen wichtig sind

2. Zusammenfassung (Deutsch, Französisch, Italienisch, Englisch)

2.1 Zusammenfassung

Hintergrund und Projektziel

Regelmässige körperliche Aktivität (kA) hat positive Auswirkungen auf die geistige und körperliche Gesundheit sowie das Wohlbefinden, wirkt präventiv und unterstützt den Heilungsprozess bei nicht-übertragbaren Krankheiten (NCDs) und kann Einfluss auf verschiedene Aspekte des Immunsystems nehmen. Daher könnte kA auch als präventive Massnahme für verschiedene Infektionskrankheiten, wie COVID-19, eingesetzt werden. Ziel dieses Berichts ist es, die genauen Wirkungsweisen von kA auf das Immunsystem darzulegen und detaillierte Empfehlungen für den Einsatz von kA als Präventionsmassnahme von Infektionskrankheiten zusammenzustellen.

Methodik

Zur Identifikation relevanter Literatur zum Zusammenhang zwischen kA und dem Immunsystem wurden systematische Suchstrategien entwickelt und in den Datenbanken MEDLINE (Ovid) und Cochrane Database of Systematic Reviews ausgeführt. Die Suche fokussierte sich hauptsächlich auf Systematic Reviews und Metaanalysen, die seit 2010 publiziert wurden. Zusätzlich wurden die Ergebnisse mittels einer händischen Suche ergänzt.

Zentrale Ergebnisse

kA hat einen direkten Einfluss auf unser Immunsystem. Akut führt Bewegung zu einer Stimulation des Immunsystems. Hochintensive kA kann die Immunreaktion bis zu 6h nach der kA einschränken. Regelmässige moderate bis intensive kA über einen Zeitraum von mehreren Wochen führt hingegen zu einer langfristigen Verbesserung der Aktivität und Funktionalität unserer Immunzellen. Dadurch kann regelmässige moderate bis intensive kA den Verlauf von Infektionen, wie zum Beispiel COVID-19, abmildern, und senkt das Sterblichkeitsrisiko bei einer COVID-Infektion um das 2.49fache. Hingegen erhöht körperliche Inaktivität das Risiko bei einer COVID-Infektion hospitalisiert werden zu müssen um das 2.26fache.

Empfehlungen

Auf Basis der Ergebnisse wird regelmässige moderate bis intensive kA (70-90% max. Herzfrequenz) zur Unterstützung unseres Immunsystems und zur Prävention von Infektionskrankheiten wie COVID-19 empfohlen. Zusätzlich kann kA, durch die Reduktion des Stresslevels im Körper unser Immunsystem unterstützen. Dieser Effekt kann unter anderem durch kA draussen in der Natur, oder durch spezifische Mind-Body-Aktivitäten noch zusätzlich gefördert werden. Um von den positiven Auswirkungen von kA auf das Immunsystem zu profitieren, sollte auf ausreichend Regeneration, auf die Umgebung und an die Temperatur angepasste kA und Bekleidung geachtet werden. So können zusätzliche Stressoren wie Hitze, Kälte oder Luftverschmutzung, die unser Immunsystem beeinträchtigen, reduziert werden.

2.2 Résumé

Contexte et objectif du projet

L'activité physique régulière (AP) a des effets positifs sur la santé et le bien-être mental et physique, a un effet préventif et soutient le processus de guérison en cas de maladies non transmissibles et influence divers aspects du système immunitaire. Par conséquent, l'AP pourrait être utilisée comme mesure de prévention de diverses maladies infectieuses, telles que le COVID-19. L'objectif de ce rapport est de décrire les mécanismes d'action de l'AP sur le système immunitaire et de formuler des recommandations détaillées pour l'utilisation de l'AP comme mesure préventive des maladies infectieuses.

Méthodologie

Pour identifier la littérature pertinente sur la relation entre l'AP et le système immunitaire, des stratégies de recherche systématiques ont été élaborées et effectuées dans les bases de données MEDLINE (Ovid) et Cochrane Systematic Reviews. La recherche s'est principalement limitée aux revues systématiques et aux méta-analyses publiées depuis 2010. De plus, les résultats ont été complétés en utilisant une recherche manuelle.

Résultats principaux

L'AP a un impact direct sur notre système immunitaire. Aiguë, AP conduit à une stimulation du système immunitaire. De façon aiguë, l'AP d'intensité très élevée induit une stimulation du système immunitaire et peut limiter la réponse immunitaire jusqu'à 6 heures après l'AP. En revanche, une AP régulière d'intensité modérée à vigoureuse (MV) sur une période de plusieurs semaines entraîne une amélioration à long terme de l'activité et de la fonctionnalité de nos cellules immunitaires. Ainsi, une activité physique régulière modérée à intense peut atténuer l'évolution d'infections telles que la COVID-19 et réduit de 2,49 fois le risque de mortalité en cas d'infection par la COVID. En revanche, l'inactivité physique multiplie par 2,26 le risque d'hospitalisation en cas d'infection par COVID.

Recommandations

Sur la base des résultats, il est recommandé de pratiquer régulièrement l'APMV (70-90% de la fréquence cardiaque maximale) pour soutenir notre système immunitaire et prévenir les maladies infectieuses telles que le COVID-19. De plus, l'AP peut soutenir notre système immunitaire en réduisant les niveaux de stress dans le corps. Cet effet peut être renforcé, entre autres, par une AP dans la nature ou par des activités psychocorporelles spécifiques. Afin de bénéficier des effets positifs de l'AP sur le système immunitaire, une attention particulière doit être accordée à une régénération suffisante et à l'adaptation de l'AP en fonction de l'environnement et de la température. De cette manière, il est possible d'éviter les facteurs de stress supplémentaires tels que la chaleur, le froid ou la pollution atmosphérique, qui affectent notre système immunitaire.

2.3 Riepilogo

Contesto e obiettivo del progetto

L'attività fisica (AF) regolare ha effetti positivi sulla salute e sul benessere psicofisico, ha un effetto preventivo e supporta il processo di guarigione in caso di malattie non trasmissibili e può influenzare vari aspetti del sistema immunitario. Pertanto, AF potrebbe essere utilizzata come misura preventiva di varie malattie infettive come COVID-19. Lo scopo di questo rapporto è presentare esatte modalità di azione di AF sul sistema immunitario e compilare raccomandazioni dettagliate, per l'uso di AF come misura preventiva contro le malattie infettive.

Metodica

Per identificare pubblicazioni rilevanti sulla connessione tra AF e sistema immunitario sono state sviluppate strategie di ricerche sistematiche nei database MEDLINE (Ovid) e Cochrane Database of Systematic Reviews. La ricerca è stata principalmente limitata a revisioni sistematiche e metanalisi pubblicate dal 2010. Inoltre, i risultati sono stati integrati da una ricerca manuale.

Risultati centrali

AF ha un'influenza diretta sul nostro sistema immunitario. Acutamente AF stimola il sistema immunitario. Al contrario, AF di intensità altissima può limitare il sistema immunitario fino a 6 ore dopo l'esercizio. D'altra parte, la AF regolare per un periodo di diverse settimane porta a un miglioramento a lungo termine dell'attività e funzionalità delle nostre cellule immunitarie.

Di conseguenza, la AF regolare può mitigare il decorso di infezioni come COVID-19. In caso di infezione il rischio di mortalità viene diminuito di un fattore pari a 2,49. Al contrario, l'inattività fisica aumenta il rischio di ospedalizzazione per infezione da COVID di 2,26 volte.

Raccomandazione

Sulla base dei risultati AF è raccomandato per supportare il nostro sistema immunitario e prevenire malattie infettive come COVID-19. AF dovrebbe essere svolto regolarmente e svolgersi nella gamma di intensità da moderata a intensa (70-90% della frequenza cardiaca massima). KA può anche supportare il sistema immunitario riducendo il livello di stress nel corpo. Questo effetto può essere accentuato, effettuando AF fuori nella natura o con esercizi specifici di Mind-Body.

Per sfruttare degli effetti positivi del KA sul sistema immunitario, occorre prestare attenzione a una rigenerazione sufficiente, a un abbigliamento adatto all'ambiente e alla temperatura. In questo modo è possibile evitare ulteriori fattori di stress come caldo, il freddo o l'inquinamento atmosferico, che compromettono il nostro sistema immunitario.

2.4 Summary

Background and Project Goal

Regular physical activity (PA) has a positive impact on mental and physical health and well-being, has a preventive effect and supports the healing process for non-communicable diseases (NCDs) and influences various aspects of the immune system. Therefore, PA can be used as a preventive measure of various infectious diseases, such as COVID-19. The aim of this report is to outline the mechanisms of action of PA on the immune system and to compile detailed recommendations for the use of PA as a preventive measure of infectious diseases.

Methodology

To identify relevant literature on the relationship between PA and the immune system, systematic search strategies were developed and performed in the MEDLINE (Ovid) and Cochrane Systematic Reviews databases. The search was mainly limited to systematic reviews and meta-analyses published since 2010. In addition, results were supplemented using a manual search.

Main Results

PA has a direct impact on our immune system. Acutely, PA leads to stimulation of the immune system. Very high-intensity PA, on the other hand, can limit the immune response up to 6 h after PA. Regular moderate to vigorous intensity (MV) PA over a period of several weeks or more, on the other hand, leads to a long-term improvement in the activity and functionality of our immune cells. Thus, regular MVPA can attenuate the course of infections, such as COVID-19, among others, as well as the mortality risk from COVID infection by a factor of 2.49. In contrast, physical inactivity increases the risk of hospitalisation for COVID infection by a factor of 2.26.

Recommendations

Based on the results, regular MVPA (70-90% of the maximal Heartrate) is recommended to support our immune system and prevent infectious diseases such as COVID-19. Additionally, PA can support our immune system by reducing stress levels in the body. This effect can be further be enhanced by PA in nature settings or through specific mind-body activities, among other things. In order to benefit from the positive effects of PA on the immune system attention should be paid to sufficient regeneration, and by adapting PA and clothing to the environment and temperature. In this way, additional stressors such as heat, cold or air pollution, which affect our immune system, can be avoided.

3. Einleitung

Regelmässige Bewegung/körperliche Aktivität (kA) hat positive Auswirkungen auf die geistige und körperliche Gesundheit sowie das Wohlbefinden (Weltgesundheitsorganisation [WHO], 2020). Nachweislich ist regelmässige kA mit einer geringeren Gesamtmortalität und einem geringeren Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes und einigen Krebsarten assoziiert (Reiner et al., 2013; Warburton et al., 2006; Wu et al., 2013). Darüber hinaus hat kA positive Effekte für die psychische Gesundheit und vermag so bei depressiver Symptomatik stimmungsaufhellend zu wirken. Weiter haben Studien gezeigt, dass kA eine entscheidende Rolle beim Erhalt und der Verbesserung der kognitiven Funktionen spielt (Engeroff et al., 2018; Prakash et al., 2015) und muskuloskeletale Beschwerden reduzieren kann (Rodrigues et al., 2014). Durch die vielfältigen positiven Wirkungen gehört kA zu den empfohlenen Allgemeinmaßnahmen in der Prävention und Rehabilitation verschiedener Krankheitsbilder und wird in der Gesundheitsförderung eingesetzt (Gjevestad, Holven & Ulven, 2015). Regelmässige kA gilt in allen Altersgruppen als Grundlage für einen gesunden Lebensstil. Um von den gesundheitlichen Vorteilen von kA zu profitieren und gesundheitliche Risiken, die durch Bewegungsmangel entstehen können, zu minimieren, sollten bestimmte Umfänge und Intensitäten erreicht werden. Auf Basis von bisherigen Forschungsergebnissen zum Zusammenhang von kA und dem allgemeinen Sterblichkeitsrisiko sowie dem Risiko für verschiedene Erkrankungen hat die WHO Empfehlungen für kA verfasst. Die darauf basierenden und für die Schweiz angepassten Bewegungsempfehlungen können beim Netzwerk HEPA¹ gefunden werden.

3.1 Bewegung/körperliche Aktivität (kA)

Als Bewegung wird jede körperliche Aktivität (kA) bezeichnet, die durch die Skelettmuskulatur erzeugt wird und den Energieverbrauch über den Grundumsatz (Energiebedarf in Ruhe) anhebt (Caspersen et al., 1985). Demnach gehören zu Bewegung sportliche Aktivitäten und Aktivitäten, die in der Freizeit, bei der Arbeit, beim Arbeits- oder Schulweg und bei Haushalts- und Gartenarbeiten ausgeübt werden.

Die Begriffe «Sport» und «Training» werden in diesem Bericht von kA klar abgegrenzt. Während der Begriff kA alle körperlichen Bewegungen umfasst, beschreiben Sport und Training Subkategorien von kA. Sport umfasst eine Vielzahl von physischen Aktivitäten, die meist einen gewissen Spiel- oder Wettkampfcharakter mit Regeln besitzen (heute ordnet man oft auch weitere, mit Bewegung verbundene Freizeitaktivitäten wie beispielsweise das Wandern, dem Sport zu). Von Training wird gesprochen, wenn eine kA im Voraus geplant wird, einer Struktur folgt, wiederholt auftritt und ein (Zwischen-) Ziel verfolgt wie z.B. die Verbesserung und Erhaltung der körperlichen Fitness (Caspersen et al., 1985).

¹ Netzwerk HEPA (health-enhancing physical activity): www.hepa.ch

Die Wirksamkeit von kA ist neben dem körperlichen Aktivitätsniveau (aktiv/inaktiv) und dem Trainingszustand (trainiert/untrainiert) des Einzelnen auch von der Gestaltung der kA abhängig. Um kA und insbesondere sportliche Aktivität kategorisieren und beschreiben zu können, werden häufig sogenannte Belastungsnormative verwendet. Mit Hilfe dieser Beschreibungsgrößen kann unter anderem bestimmt werden, wie intensiv, wie lange und mit welchen Pausen die kA durchgeführt wird. Die wichtigsten Belastungsnormative umfassen dabei: Intensität, Dauer, Umfang und die Häufigkeit (Hottenrott & Seidel, 2017).

Die Bewegungsintensität beschreibt das Ausmass der Anstrengung, die erforderlich ist, um die Aktivität auszuführen. Es wird zwischen leichter, moderater, intensiver und hochintensiver kA unterschieden. In diesem Bericht wird die Intensität in Relation (%) zur maximalen Herzfrequenz (HF_{max}) oder zur maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) angegeben. Nach Eisenhut und Zintl (2013) können vier Intensitätsbereiche festgelegt werden:

- leichte Intensität: 60-70% HF_{max} , 65-70% VO_{2max}
- moderate Intensität: 70-80% HF_{max} , 70-85% VO_{2max} ,
- intensive Intensität: 80-90% HF_{max} , 85-95% VO_{2max}
- hochintensive Intensität: >90% HF_{max} , >95% VO_{2max}



Abbildung 1
Intensitätsbereiche der körperlichen Aktivität (adaptiert von [L'Activité Physique | Sport Santé | Activités Thérapeutiques | Luxembourg \(sport-sante.lu\)](#))

HF_{max} = maximale Herzfrequenz

Die Bezeichnung der Intensitätsbereiche kann von denjenigen im Grundlagendokument zu den Bewegungsempfehlungen (siehe bei hepa.ch) abweichen, da dieses erst nach diesem Bericht veröffentlicht wird.

Ergänzend kann mit Hilfe der Borgskala (Borg, 1998; s. Abbildung 2) das subjektive Belastungsempfinden genutzt werden, um die Belastungsintensität zu quantifizieren. Die Skala reicht von 6 (überhaupt nicht anstrengend) bis 20 (maximale Anstrengung). Es gibt auch weitere Möglichkeiten zur Quantifizierung der Intensität (z.B. das metabolische Äquivalent – MET) das hier nicht weiter diskutiert wird.

6	Überhaupt nicht anstrengend
7	
8	Extrem leicht
9	Sehr leicht
10	
11	Leicht
12	
13	Etwas anstrengend
14	
15	Anstrengend, schwer
16	
17	Sehr anstrengend
18	
19	Extrem anstrengend
20	Maximale Anstrengung

Abbildung 1. Borg-Skala (Borg, 1998)

Zusätzlich zu den Klassifikationen „leichte, moderate, intensive und hochintensive kA“ werden in der nachfolgenden zusammengefassten Literatur die Begriffe „aerob“ und „anaerob“ verwendet. Diese Begriffe beziehen sich auf die Form der Energiebereitstellung und Energiegewinnung in der arbeitenden Muskulatur.

Im aeroben Intensitätsbereich wird eine Herzfrequenz von ca. 70-80% der maximalen HF, sowie ein Borg-Wert zwischen 11 und 13 erreicht, was einer moderaten kA entspricht. Der anaerobe Trainingsbereich ist vergleichbar mit intensiver kA und liegt bei 80-95% der maximalen HF und einem Borg-Wert zwischen 15-17 (Vogt et al., 2005).

3.2 Das Immunsystem

An der Aufrechterhaltung unserer Gesundheit ist das Immunsystem massgeblich beteiligt. Allgemein dient es dazu, körperfremde Stoffe aus der Umwelt wie Bakterien, Viren, Pilze und Parasiten, die eine Infektion hervorrufen können, zu erkennen und zu vernichten. Das Immunsystem wird unterstützt durch physiologische Barrieren wie der Haut, den Schleimhäuten, oder den Flimmerhärchen in den leitenden Atemwegen (Luftröhre, Bronchien und Bronchiolen). Diese können das Eindringen von vielen Infektionserregern bereits im Vorfeld verhindern und haben so eine schützende Funktion.

Gelangt ein Erreger aber dennoch durch diese äussere Schutzbarriere, tritt unser inneres Immunsystem in Aktion (Faller & Schünke, 2008). Dabei werden zwei verschiedene Abwehrsysteme unterschieden: das unspezifische und das spezifische Immunsystem. Grundsätzlich greift in den ersten 96 Stunden nach dem Eintritt einer Infektion zunächst unser unspezifisches Immunsystem (s. Abbildung 3), welches unspezifische Infektionserreger angreift. Die wichtigsten Zellen der unspezifischen Immunabwehr sind Granulozyten, Monozyten und Makrophagen. Die spezifische Immunabwehr besteht unter anderem aus Lymphozyten und natürlichen Killerzellen (NK). Granulozyten, Lymphozyten und Monozyten werden als Leukozyten zusammengefasst.

Granulozyten

Granulozyten sind weisse Blutzellen und können in verschiedene Zelltypen unterteilt werden: Neutrophile Granulozyten, Eosinophile und Basophile. Sie bilden dabei mit ca. 70% den grössten Anteil an den weissen Blutzellen (Roth et al., 2018). Die Hauptaufgabe der Granulozyten besteht

darin, Fremdstoffe aufzulösen oder unschädlich zu machen (Phagozytose) sowie zerstörtes Gewebe abzubauen (Roth et al., 2018).

Chronologie der Immunreaktion auf virale Infekte. Schematische Darstellung der wichtigen immunologischen Reaktionen bei der erstmaligen Abwehr viraler Infektionen mit zeitlicher Zuordnung nach Eintritt einer Infektion

Phase	Charakteristika	Mechanismus
< 4 Stunden	<ul style="list-style-type: none"> – Unspezifisch – Angeboren – Kein Gedächtnis – Keine spezifische T-Zell-Antwort 	<ul style="list-style-type: none"> – Natürliche Killerzellen – Immunglobuline A, M (B-Zellen) – Monozyten/Makrophagen-System – Neutrophile
4–96 Stunden	<ul style="list-style-type: none"> – Unspezifisch – Kein Gedächtnis – Keine T-Zell-Antwort 	<ul style="list-style-type: none"> – Zytokine, z. B. Interferon, Tumornekrosefaktor, Interleukine 1 und 6 – Durch Zytokine aktivierte natürliche Killerzellen – Akute-Phase-Reaktion – Monozyten-/Makrophagen-System – Neutrophile
> 96 Stunden	<ul style="list-style-type: none"> – Spezifisch – Gedächtnis – Spezifische T-Zell-Antwort – Spezifische Antikörperproduktion 	<ul style="list-style-type: none"> – Zytotoxische T-Zellen – Spezifische B-Zellen/Plasmazellen – Gedächtniszellen

Abbildung 2. Chronologie der Immunreaktion (Putz et al., 2016)

Monozyten und Makrophagen

Monozyten zirkulieren grundsätzlich im Blutkreislauf des Körpers. Bei Verlassen des Blutkreislaufs und Eintritt in das Gewebe entstehen aus den Monozyten die sogenannten Makrophagen. Die Aufgabe der Monozyten und Makrophagen ist die Phagozytose (Auflösung bzw. Unschädlichmachung von Fremdstoffen im Organismus), aber auch die Produktion von Zytokinen (Roth et al. 2018). Als Zytokine werden alle von Immunzellen ausgeschütteten Proteine bezeichnet. Diese können, sofern die Zellen einen geeigneten Rezeptor besitzen, das Verhalten von nahegelegenen Zellen beeinflussen. Unter anderem zählen die sogenannten Interleukine zu den Zytokinen. Diese sind körpereigene Botenstoffe, die die Kommunikation zwischen Leukozyten, aber auch zu anderen Zellen, die an der Immunreaktion beteiligt sind, vermitteln (Roth et al., 2018).

Da sich sowohl die Makrophagen als auch die Granulozyten mit der Auflösung von zerstörtem Gewebe beschäftigen, werden diese als Phagozyten, sogenannte Fresszellen, bezeichnet.

Neben der unspezifischen Immunabwehr verfügt der Körper zusätzlich über eine spezifische Immunabwehr, welche aktiv wird, falls durch die erste Verteidigungslinie nicht alle Eindringlinge vollständig vernichtet werden konnten. Diese schaltet sich ca. 96 Stunden nach dem Eintritt eines Erregers hinzu (s. Abbildung 3). Die spezifische Immunabwehr kann sich an unterschiedliche Krankheitserreger anpassen und diese bei einem wiederholten Befall des Körpers wiedererkennen. Sie besteht unter anderem aus verschiedenen Lymphozyten, wie den B- und T-Lymphozyten, CD4 Zellen, sowie den natürlichen Killer-Zellen (Faller & Schünke, 2008).

B-Zellen sind für die Produktion von Abwehrstoffen, den sogenannten Antikörpern, zuständig. Diese richten sich jeweils spezifisch gegen ein als körperfremd erkanntes Antigen. Einer der wichtigsten Antikörper im Blutserum ist dabei das Immunglobulin G (IgG). Das Immunglobulin A (IgA) ist hingegen die wichtigste Antikörperklasse in äusseren Sekreten wie dem Speichel, Tränen und dem Schleim von Bronchien und Darm (Berg et al., 2013).

T-Zellen erkennen Antigene, also körperfremde Strukturen, wenn sie von körpereigenen Zellen auf ihrer Oberfläche präsentiert werden. Sie sorgen dann dafür, dass die entsprechenden kranken oder veränderten Zellen entfernt werden.

Zudem unterstützen sogenannte T-Helferzellen die Immunantwort, indem sie die B-Zellen zur Antikörperproduktion anregen und Makrophagen helfen, aufgenommene Mikroorganismen abzutöten (Roth et al., 2018). Die T-Helferzellen werden in Typ 1 (TH-1) und Typ 2 (TH-2) unterteilt.

Ein weiterer Abwehrmechanismus im spezifischen Immunsystem ist die Lymphozyten Apoptose. Als Apoptose wird der programmierte Zelltod (=“Selbsterstörung“) von Zellen bezeichnet. Die Apoptose von Lymphozyten ist wichtig für die Entwicklung des Immunsystems sowie für die Aufrechterhaltung und Beendigung einer Immunreaktion. Bei der Entwicklung des Immunsystems werden Lymphozyten benötigt, um Antigene erkennen zu können. Lymphozyten, die körpereigene Strukturen erkennen, müssen hingegen mittels Apoptose vernichtet werden. Zusätzlich dient die Apoptose der Immunfunktionssteuerung, da die T-Lymphozyten mittels Apoptose virusinfizierte Zellen vernichten können. Abschliessend ist die Apoptose notwendig, um die Immunabwehr zu beenden. Die Anzahl an T-Lymphozyten kann so gezielt verringert werden, um zum Ausgangszustand zurückzukehren (Hug, 2000).

Natürliche Killerzellen (NK) gehören ebenfalls zur Gruppe der Lymphozyten und haben die Hauptaufgabe, Tumorzellen oder virusinfizierte Zellen zu erkennen und ihren Tod durch Apoptose herbeizuführen.

Einflüsse auf das Immunsystem

Die Aktivität und Funktionalität unseres Immunsystems kann durch verschiedene Faktoren und Reaktionen im Körper beeinflusst werden. Dazu gehören unter anderem die Konzentration diverser Hormone wie Katecholaminen, Cortisol oder dem Vitamin D Serum-Level. Nachfolgend wird daher auf den Wirkungsmechanismus einiger relevanter Einflussfaktoren eingegangen.

- Katecholamine

Unter dem Begriff Katecholamine werden verschiedene Stresshormone wie Adrenalin, Noradrenalin und Dopamin zusammengefasst. Sie sind Neurotransmitter des sympathischen Nervensystems und können bei einer akuten Stressreaktion innerhalb von Sekunden ansteigen und ihre Wirkung entfalten. Sowohl die Zellen des unspezifischen als auch des spezifischen Immunsystems stehen unter dem Einfluss der Katecholamine (Schauenstein & Liebmann, 2006). Adrenalin und Noradrenalin können die Produktion von Interleukinen und die Aktivität der T-Helferzellen hemmen (Arnold, 2001; Arnold & Wichert, 2003) und somit die Immunantwort senken.

- Cortisol

Cortisol ist neben den Katecholaminen ein wichtiges Stresshormon und kann ebenso Einfluss auf die Aktivität des Immunsystems nehmen. So beeinflusst Cortisol das Zirkulationsverhalten von neutrophilen Granulozyten und hindert diese daran, an den entzündlich veränderten Gewebeort auszuwandern (Putz et al., 2017). Ebenso nimmt Cortisol Einfluss auf die Lymphozyten. Diese werden in den primären lymphatischen Organen (Thymus, Knochenmark) „festgehalten“ und können so nicht in ausreichender Menge in den sekundären lymphatischen Organen (Lymphknoten, Milz, Mukosa-assoziiertes lymphatisches Gewebe im Rachen und Dünndarm) erscheinen. So kommt es zu einer verringerten Kommunikation mit den Makrophagen und die Signalweiterleitung an die spezifische Immunabwehr wird eingeschränkt (Putz et al., 2017).

- Vitamin D

Vitamin D kann auf verschiedenen Wegen und insbesondere in der unspezifischen Immunabwehr das Immunsystem positiv beeinflussen (Hewison, 2010). So wird zum einen die Produktion von Makrophagen angeregt, die wiederum die Aktivität und Expression von Cathelicidin und beta-Defensin erhöhen. Diese übernehmen wichtige antimikrobielle Funktionen in den Epithelzellen (Hewison, 2010). Des Weiteren ist Vitamin D in der Lage die Aktivität der natürlichen Killerzellen (NK) zu erhöhen (Zittermann, 2012) und die Reaktion der Immunzellen zu modulieren, sodass diese schneller zum Infektionsherd gelangen. Ferner hat Vitamin D verschiedene direkte antivirale Effekte wie u. a. die Störung der viralen Oberfläche, die zu einer Einschränkung der Virusreplikation führt (Teymoori-Rad, 2019).

Ein niedriger Vitamin D-Status ist hingegen mit einer Aktivierung von Entzündungsprozessen assoziiert und kann somit das Immunsystem negativ beeinflussen (Murr et al., 2012).

Metabolismus und das Immunsystem

Neuere Forschungsansätze beschäftigen sich mit dem Einfluss des zellulären Metabolismus auf die Effektorfunktionen von Immunzellen, wie unter anderem die Charakterisierung von entzündungsfördernden und entzündungshemmenden Zellen (Raulien, 2017). Im Folgenden werden verschiedene Wirkungsmechanismen des Metabolismus auf das Immunsystem erläutert, welche für die nachfolgende Literaturanalyse relevant sind.

- *Endocannabinoide*

Endocannabinoide sind Neurotransmitter (Grotenhermen, 2018). Sie unterstützen durch die Produktion von Zytokinen und weiteren Botenstoffen die Kommunikation zwischen verschiedenen Immunzellen, wie z.B. den B- und T-Lymphozyten (Maccarrone et al., 2015). Die Aktivierung der Endocannabinoide kann die Wanderung von Lymphozyten hemmen und die Freisetzung von entzündungsfördernden Zytokinen einschränken und so die Entzündungsreaktion senken (Cencioni et al., 2010).

- *Oxylipine*

Oxylipine sind zirkulierende, bioaktive Fettsäuren, die verschiedene Signalaufgaben in zahlreichen physiologischen und pathophysiologischen Prozessen übernehmen. Unter anderem zählt dazu die Regelung von entzündungsfördernden und entzündungshemmenden Prozessen (Cruciani et al., 2019).

3.3 Zusammenhang von kA und dem Immunsystem

Neben den positiven Effekten von kA auf verschiedene psychische und physische Krankheitsbilder zeichnet sich in der Literatur auch eine günstige Wirkung von kA auf verschiedene Aspekte des Immunsystems ab (Nieman & Wentz, 2019).

Demnach könnte kA als präventive Massnahme und gegebenenfalls auch zur Behandlung verschiedener Infektionskrankheiten eingesetzt werden. Um die genauen Wirkungsweisen zu verstehen und detaillierte Empfehlungen zusammenzustellen, werden in der nachfolgenden Übersichtsarbeit die für das Immunsystem relevanten Aspekte von kA beleuchtet und Zusammenhänge aufgezeigt.

4. Literatursuche – Strategie

Zur Identifizierung relevanter Publikationen zum Zusammenhang zwischen Bewegung und Immunsystem wurden komplexe systematische Suchstrategien entwickelt und in den folgenden Datenbanken ausgeführt:

- MEDLINE (Ovid) (Ovid MEDLINE® and Epub Ahead of Print, In-Process & Other Non-Indexed Citations, Daily and Versions® (1946 – Present))
- Cochrane Database of Systematic Reviews (CDSR) via the Cochrane Library (Wiley) (1996 – Present)

Die verwendeten Suchbegriffe wurden ausgehend von bereits vorliegender Literatur identifiziert und vom Informationsspezialisten in MEDLINE in eine erste Suchstrategie eingebunden. Nach Abstimmung mit der Forschungsgruppe wurden für die Hypothesen mit datenbankspezifischen Schlagworten (MeSH terms) und synonymen Stichworten jeweils mehrere komplexe Suchstrategien entwickelt, die einzelne Teilaspekte abbildeten. Zum Teil wurden für stark überschneidende Hypothesen gemeinsame Suchstrategien entwickelt. Insgesamt wurden zwanzig Suchstrategien entwickelt (zehn je Datenbank) und als Suchen ausgeführt.

Die Suche beschränkte sich hauptsächlich auf Systematic Reviews und Metaanalysen, die seit 2010 publiziert wurden. Aufgrund der Anzahl einzelner Hypothesen wurden die einzelnen Suchstrategien nacheinander entwickelt und sukzessiv zwischen dem 12.11. und dem 30.11.2021 ausgeführt und die erhaltenen Referenzen jeweils kurz nach der Ausführung zum Screening bereitgestellt.

Für die Suche in MEDLINE wurde der Systematic-Reviews-Filter des Scottish Intercollegiate Guidelines Network (SIGN) für Ovid MEDLINE (doi: 10.1186/1471-2288-12-51) verwendet und auf Artikel ab 2010 limitiert. Bei der Suche in der Cochrane Database of Systematic Reviews wurden keine Filter oder Limits verwendet.

Als Suchkonzepte wurden verwendet:

- Physical Activity, Exercise and Sports
- Duration, Modality, Intensity and Frequency
- Immune System and Disease Susceptibility
- COVID-19
- Infectious Diseases
- Metabolism
- Stress
- Environmental Factors (Lighting, Location, Temperature, Climate, etc.)
- Protective Factors
- Age and Age Factors

Eine Beispielstrategie ist im Anhang bereitgestellt.

5. Hypothesen

5.1 kA stärkt die Immunabwehr

5.1.1 Zellzahl der weissen Blutkörperchen

Hypothese

Die Zellzahl der weissen Blutkörperchen, insbesondere der schnellen Abwehrzellen (Phagozyten, Makrophagen, Granulozyten u.a.) des unspezifischen Immunsystems, erhöht sich nach körperlicher

Belastung. Die Anzahl der B-Lymphozyten, die für die Produktion von Antikörpern im spezifischen Immunsystem verantwortlich sind, wird durch Bewegung erhöht.

Befunde

a. Kurzfristige Reaktion von kA auf die Zellen des Immunsystems

kA stimuliert unser Immunsystem. Diese Stimulation wird direkt nach der Belastung messbar und kann bis zu 6h nach der Aktivität anhalten (Souza et al., 2021). Abhängig von der spezifischen Belastungsintensität werden dabei unterschiedliche Reaktionen unseres Immunsystems hervorgerufen.

Nach Bewegung mit hoher bis sehr hoher Intensität in Form von Intervalltrainings ($\geq 85\%$ der HF_{max}) ist die Anzahl der Leukozyten und Lymphozyten erhöht (Souza et al., 2021). Gleichzeitig wird die Funktionalität von Leukozyten und Lymphozyten eingeschränkt. Dies deutet auf eine Entzündungsreaktion hin, die durch die intensive kA hervorgerufen wird und die zu einer kurzzeitigen Einschränkung des Immunsystems führt. Diese Einschränkung reguliert sich allerdings innerhalb von 30-180min nach der kA wieder und erreicht das Ausgangsniveau.

Bei moderater bis intensiver Aktivität kommt es innerhalb der ersten 24h nach der Belastung zu einer erhöhten Mobilität und Aktivität von T-Zellen (Mathot et al., 2021; Souza et al., 2021). Ebenso zeigt sich bei leichter, moderater, intensiver wie auch hochintensiver Aktivität (Dauer: 5-120min) eine erhöhte Aktivität der NK-Zellen (Rumpf et al., 2021; Nieman & Wentz, 2018). Diese ist bis zu 40-240min nach der kA messbar. Die erhöhte NK-Aktivität tritt sowohl nach einem Krafttraining wie auch nach einem Ausdauertraining auf. Allerdings führen Ausdauertraining sowie höhere Belastungsintensitäten zu einer höheren NK-Aktivität. Sowohl die erhöhte Aktivität und Mobilität der T-Zellen wie auch der NK-Zellen deutet auf eine Stimulation des Immunsystems hin und kann zu einer kurzfristigen Einschränkung der Immunfunktion führen.

b. Langzeitreaktion von kA auf die Zellen des Immunsystems

Die Langzeitwirkungen von kA auf unser Immunsystem sind in der Literatur teils noch umstritten (Mathot et al., 2021). Dennoch lassen sich aus den Übersichtsarbeiten erste Tendenzen ableiten. Trainingsinterventionen mit moderater bis intensiver kA 2-4x pro Woche über einen Zeitraum von 4-26 Wochen führen zu keiner Veränderung der absoluten Konzentration von IgA (Souza et al., 2021; Grande et al., 2020), Leukozyten (Souza et al., 2021; Chastin et al., 2021, Goncalves et al., 2020) und NK Zellen (Chastin et al., 2021). Allerdings zeigen sich in einigen Studien Anpassungserscheinungen und erhöhte Konzentrationen der Lymphozyten, der neutrophilen Granulozyten (Chastin et al., 2021; Souza et al., 2021) und der Monozyten (Souza et al., 2021) sowie eine erhöhte Lymphozyten-Apoptose (die von Bedeutung für das Gleichgewicht des Immunsystems ist) (Galliford et al., 2017). Ebenso konnte eine Reduktion des allgemeinen entzündungsfördernden Zustands (Nieman & Wetz, 2018), sowie der entzündungsfördernden Reaktion nach kA beobachtet werden (Gjevestad et al., 2015).

Zusammenfassend führt regelmässige kA durch wiederkehrende Stimulation des Immunsystems zu einer verbesserten Immunüberwachung, sowie Aktivität und Funktionalität von einigen Immunabwehrzellen, wie den Lymphozyten, Monozyten und neutrophilen Granulozyten (Souza et al., 2021).

Fazit

Akute kA kann das Immunsystem stimulieren. Diese Veränderungen können bis zu 6h nach der kA zu einer eingeschränkten Immunfunktion führen. Regelmässige kA über einen Zeitraum von 4-26 Wochen führt hingegen zu positiven Anpassungen des Immunsystems durch die Verbesserung der Immunüberwachung und der Funktionalität verschiedener Zellen, wobei die absolute Konzentration und Anzahl von Immunzellen im Körper nur zum Teil zunehmen.

5.1.2 Bewegung als Schutzfaktor für COVID-19 und allgemeine Atemwegserkrankungen

Hypothese

Bewegung dient als Schutzfaktor für COVID-19 und allgemeine Atemwegserkrankungen (Infektionsanfälligkeit, Infektionsverlauf, weitere Einflüsse, Wirksamkeit der Impfung, Impfverträglichkeit).

Befunde

Wenn nicht explizit erwähnt, *beziehen sich folgende Befunde auf allgemeine Atemwegserkrankungen (s. Abbildung 4)* und nicht spezifisch auf COVID-19.

a. Infektionsanfälligkeit:

Der Einfluss von körperlicher Aktivität auf das Infektionsrisiko für Erkrankungen der Atemwege, wie auch COVID-19, ist in der Literatur bisher umstritten. Laut Chastin et al. (2021) kann die Anzahl an Atemwegserkrankungen durch regelmäßige, moderate bis intensive kA reduziert werden. Bei Erreichen von mindestens 150min körperliche Aktivität bei mittlerer oder höherer Intensität pro Woche wird das Infektionsrisiko im Vergleich zu inaktiven Personen um bis zu 31% reduziert (Chastin et al., 2021).

Dem gegenüber stehen jedoch Ergebnisse von anderen Metaanalysen, die keinen Zusammenhang zwischen kA und der Anzahl an Atemwegserkrankungen pro Jahr feststellen konnten (Grande, Keogh, Silva & Scott, 2020; Clemente-Suárez et al., 2022).

b. Infektionsverlauf

In ihrer Übersichtsarbeit zeigten Grande et al. (2020), dass regelmäßiges moderates bis intensives aerobes Training einen positiven Einfluss auf den Schweregrad einer Atemwegserkrankung hat. Personen die regelmässig trainierten (3-5x pro Woche über einen Zeitraum von 7-12 Monaten) hatten gegenüber inaktiven Personen geringere und weniger stark ausgeprägte Symptome bei einer Infektion. Auch in einer umfangreichen Einzelstudie von Sallis et al. (2021) konnten diese Ergebnisse bestätigt werden. Mit COVID-19 infizierte Erwachsene, die die 150min Bewegung pro Woche bei mittlerer oder höherer Intensität erreichten, hatten gegenüber inaktiven Erwachsenen ein geringeres

Risiko für einen schweren Verlauf. Ebenso ist die Hospitalisierungsrate bei einer COVID-19 Infektion bei körperlicher Inaktivität um das 2,26-fache erhöht. Das Risiko auf der Intensivstation behandelt werden zu müssen ist bei körperlich Inaktiven um das 1,73-fache höher (Sallis et al., 2021). Ein vergleichbares Bild zeichnet sich beim allgemeinen Mortalitätsrisiko ab, dass sich bei ausreichender kA (≥ 150 min kA/Woche) um 37% verringert im Vergleich zu geringer kA oder körperlicher Inaktivität (< 150 min kA/Woche) (Chastin et al., 2021; Sallis et al., 2021).

c. Weitere Einflüsse

Es wurde gezeigt, dass chronische Krankheiten aufgrund eines entzündungsfördernden Zustands eine schlechtere COVID-19-Prognose und stärkere -Symptomatik begünstigen (Clemente-Suarez et al., 2021). kA kann den Entzündungszustand im Körper bei chronisch Erkrankten abschwächen. Auf diese Weise kann zwar das Risiko, sich mit COVID-19 zu infizieren, nicht verringert werden, allerdings wird das Risiko für einen schweren Krankheitsverlauf bei chronischen Vorerkrankungen reduziert (Clémente-Suarez et al. 2021). Der entzündungsmindernde Effekt von kA zeigt sich schon bei Erreichung von 150min Bewegung pro Woche bei mittlerer oder höherer Intensität. Dieser Effekt kann durch eine individuell abgestimmte Steigerung der kA über 150min/Woche hinaus noch verstärkt werden (Clemente-Suárez et al., 2022).

Der Zusammenhang zwischen kA und dem Verlauf einer COVID-19-Infektion bei chronischen Erkrankungen wird auch durch die Ergebnisse von Bello et al., (2021) gestützt. In ihrem Review wird aufgezeigt, dass körperliche Inaktivität zu einer Dysfunktion des Immunsystems führt. Zusätzlich können Vorerkrankungen, die als Risikofaktoren für einen schweren COVID-Verlauf gelten, wie Herz-Kreislaufkrankungen, Krebs oder chronische Entzündungen, durch körperliche Inaktivität verschlimmert werden (Bello et al., 2021).

d. Wirksamkeit der Impfung:

Regelmässige moderate kA (3x pro Woche über 20 Wochen) kann, durch eine gesteigerte Antikörperkonzentration, die Wirksamkeit von Impfungen erhöhen (Chastin et al., 2021). Eine einmalige kA am Tag der Impfung scheint hingegen keinen Einfluss auf die Impfwirksamkeit zu haben (Grande, et al., 2016). Allerdings ist bisher noch unklar, inwieweit die Ergebnisse aus den bisherigen Studien, die sich hauptsächlich auf Grippeimpfungen beziehen, auf die COVID-19 Impfung übertragen lassen (Valenzuela et al., 2021).

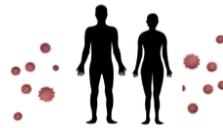
e. Impfverträglichkeit:

Zum Einfluss von kA auf die Impfverträglichkeit oder mögliche Nebenwirkungen konnten keine Studien identifiziert werden.

Fazit

Regelmässige kA (mind. 150 Minuten moderate bis intensive kA pro Woche) führt zu einem milderen und kürzeren Verlauf von Infektionen der oberen Atemwege oder einer COVID-19-Infektion. Ebenso kann kA das Risiko für einen schweren Verlauf sowie die Hospitalisierungs- und Mortalitätsrate bei

einer Infektion verringern. Eine einmalige kA direkt vor der Impfung hat keinen Effekt auf die Wirksamkeit der Impfung. Regelmässige kA (>= 20 Wochen) kann hingegen die Wirksamkeit der Impfung durch eine verstärkte Antikörperreaktion erhöhen.



Verbesserung verschiedener Einflussfaktoren der Immunabwehr gegen COVID-19 durch regelmässige körperliche Aktivität			
Schutz vor akuten Infektionen der oberen Atemwege ↑ Antipathogene Aktivität ↑ Immunkompetenz ↓ Entzündungen in Lunge und im Gewebe	Verringertes Risiko für Übergewicht, Diabetes Typ-2 und Multiple Sklerose ↓ Pro-inflammatorischer Zustand ↓ Viszerales Fett ↓ Komplikationen bei Infektionen ↑ Glykämischer-, Insulin- und Lipidstoffwechsel	Reduktion von Thrombosen und koronaren Ereignissen ↓ Pro-thrombotische und pro-atherogene Faktoren	Reduktion des Alterungsprozesse des Immunsystems ↑ Immunkompetenz ↓ Zelluläre Veränderungen im Alterungsprozess ↓ Begleiterkrankungen

Abbildung 4. Einfluss körperlicher Aktivität auf verschiedene Faktoren der Immunabwehr bei COVID-19 (adaptiert von da Silveira et al., 2020)

5.1.3 Bewegung als Schutzfaktor für Grippe & Erkältung

Hypothese

Bewegung dient als Schutzfaktor für Infektionen der oberen Atemwege wie Grippe und Erkältung.

Befunde

Nieman et al. (2019) untersuchten in ihrem Literaturreview u. a. den Zusammenhang zwischen körperlichem Training und dem Auftreten von Infektionen der oberen Atemwege (z. B. Erkältung bzw. Laryngitis, Schnupfen bzw. Rhinitis oder Rachenentzündung bzw. Pharyngitis). Basierend auf randomisierten klinischen Studien und längsschnittlichen Beobachtungsstudien kommen sie zum Schluss, dass moderates körperliches Training die Inzidenz und Dauer von Atemwegsinfektionen reduziert. Die Anzahl symptomatischer Tage konnte bei fast täglicher moderater kA um 40-50% verringert werden. Dies übertrifft sogar die berichteten Werte derjenigen Personen, die Medikamente und Nahrungsergänzungsmitteln zu sich nahmen. Dem gegenüber führt akutes intensives körperliches Training zu einem ca. 2- bis 6-fach erhöhten Risiko für eine Atemwegsinfektion (Nieman et al. (2019) (vgl. sog. J-Curve-Model s. Abbildung 5). Im Gegensatz zu Nieman et al. (2019) kommen Grande et al. (2020) in ihrer Metaanalyse zu einem kritischeren Fazit. Basierend auf randomisierten klinischen Studien folgern sie, dass moderate kA weder die Anzahl der akuten Atemwegsinfektionen pro Jahr noch die Anzahl der Tage mit Symptomen während jeder Krankheitsepisode verringerte. Jedoch verringerte moderate kA den Schweregrad der Symptome.

Fazit

Die Hinweise, dass moderates körperliches Training die Inzidenz und Dauer von Atemwegsinfektionen reduziert sind widersprüchlich. Das Ausmass der Verringerung der Tage mit Symptomen bei fast täglicher moderater kA liegt in der Regel bei 40-50% und übertrifft somit die Werte, die für die

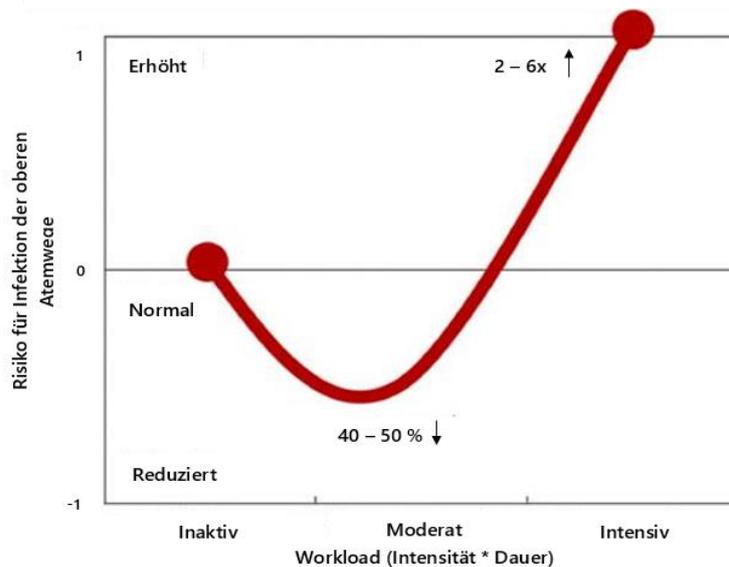


Abbildung 5. Infektionsrisiko in Abhängigkeit des Workloads der kA (J-Curve-Modell adaptiert nach Nieman & Wentz, 2018).

[Der Workload einer kA setzt sich zusammen aus der Intensität und der Dauer / dem Umfang einer kA und beschreibt die Belastung für den Körper. So wird ein Marathonlauf zwar mit niedriger Intensität im Sinne von % der maximalen Herzfrequenz gelaufen, durch seine hohe Dauer stellt er dennoch eine hohe Belastung für den Körper und das Immunsystem dar.]

meisten Medikamente und Nahrungsergänzungsmittel berichtet werden. Dem gegenüber führt akutes intensives körperliches Training zu einem ca. 2- bis 6-fach erhöhten Risiko für eine Atemwegsinfektion.

5.1.4 Bewegung hat eine Auswirkung auf den Stoffwechsel/Metabolismus

Hypothese

Bewegung hat Auswirkungen auf den Stoffwechsel/Metabolismus und damit auch Auswirkung auf das Immunsystem.

Befunde

Die angenommene Kausalkette von kA auf das Immunsystem via metabolischer Prozesse wurde in Reviews und Metaanalysen bislang (noch) nicht direkt erforscht. Jedoch wurde die Wirkung von kA auf ausgewählte biochemische Marker untersucht, welche sowohl für die Funktion des Stoffwechsels als auch im Immunsystem eine Rolle spielen. So konnten beispielsweise Chu et al. (2016) in ihrer Metaanalyse aufzeigen, dass nach körperlichem Training die Serum-Zink-Konzentration erhöht ist, was sich positiv auf den Immunstatus auswirken kann. Weiter verdeutlichen Schönke et al. (2020) in ihrem Review, dass körperliches Training u. a. den Gehalt der Endocannabinoide im Blut steigert. Schliesslich zeigen Signini et al. (2020) in ihrem systematischen Review weitere positive Effekte für das Immunsystem, wie, dass körperliches Training einen akuten und chronischen Effekt auf die Produktion von Oxylipinen hat, die wiederum eine regulative Funktion bei Entzündungsprozessen und bei der Immunfunktion einnehmen.

Was hingegen mehrfach untersucht wurde, ist der direkte Effekt von kA auf das Immunsystem (siehe z. B. 3.1.1). So wirken sich sowohl Mind-body Aktivitäten (z. B. Yoga, Tai-Chi) als auch Krafttraining nachweislich günstig auf Entzündungswerte aus (z. B. IL-1beta oder C-reaktives Protein) (Falkenverg et al., 2018; Ho et al., 2013; Morgan et al., 2014; Sardeli et al., 2018).

Fazit

Der angenommene indirekte Effekt von kA auf das Immunsystem über metabolische Prozesse wurde bisher in Reviews und Metaanalysen nicht aufgegriffen. Jedoch legen Studien nahe, dass sich spezifische biochemische Marker, die sowohl den Metabolismus als auch das Immunsystem beeinflussen, durch kA erhöhen lassen, was sich grundsätzlich positiv auf das Immunsystem auswirken kann.

5.1.5 Regelmässige Bewegung & Stress

Hypothese

Stress schwächt das Immunsystem. Dauerstress versetzt den Körper in eine ständige Entzündungsreaktion. Das fein ausbalancierte Immunsystem kann durch Stress aus dem Gleichgewicht geraten. Dies führt zu einer Überbeanspruchung und die Entzündungen können chronisch werden. Indem Stress mithilfe von kA abgebaut wird, wird dem Immunsystem also gleich doppelt geholfen: Es wird gestärkt und gleichzeitig vor Überlastung geschützt.

Befunde

Stressreiche Situationen schwächen das Immunsystem (Morgan, Irwin, Chung & Wang, 2014; Buric, Farias, Kong, Mee & Brazil, 2017; Domnich, Manini, Calabrò, de Waure & Montomoli, 2019), da diese mit einer erhöhten Entzündungsreaktion einhergehen (Slavich & Irwin, 2014).

Regelmässige kA kann dem entgegenwirken, indem die Funktionen des Immunsystems gestärkt und zu einer verbesserten Reaktion geführt werden können (Sallis et al., 2021; Chastin et al., 2021). Zudem etablierte sich kA als ein wirksames Mittel zur Stressbewältigung, was wiederum eine Auswirkung auf das Immunsystem und die Entzündungsreaktionen hat (Chastin et al., 2021). Unterschiedliche Metaanalysen und Reviews konnten die Wirksamkeit von kA auf, dass selbst berichtete oder gemessene (bspw. mittels Cortisol – ein wichtiges Stresshormon) Stresserleben beziehungsweise auf das Immunsystem deutlich machen. Das Stresserleben kann als körperliche Reaktion auf Ereignisse, die eine Bedrohung oder Herausforderung darstellen, betrachtet werden. (Buric et al., 2017).

So konnten Morgan et al. (2014) und Buric et al. (2017) aufzeigen, dass ‚Mind-Body-Interventionen‘ (MBIs) bzw. ‚Mind-Body-Therapien‘ (MBTs) (wie z.B. Tai-Chi, Yoga, Qigong) chronische Entzündungen reduzieren bzw. die Aktivität von entzündungsfördernden Genen verringern und damit psychologische als auch physiologische Vorteile mit sich bringen können. Mittels MBIs und MTBs soll Stress abgebaut und demnach dessen negative Effekte auf das Immunsystem und die Entzündungsreaktionen reduziert werden. Die positiven Auswirkungen von kA auf Stress und das Immunsystem wurde zudem auch bei unterschiedlichen Patientengruppen untersucht. So konnten Love, Sharrief, Chaoul, Savitz und Beauchamp (2019) einen Trend zur Verbesserung psychologischer Stressoren nach MBI bei Personen, die einen Schlaganfall überlebt haben, aufzeigen. Kwon, Kasper, London und Haas (2020) haben die Wirksamkeit von Yoga bei Schwangeren untersucht. Die Ergebnisse zeigten unter anderem auf, dass Schwangerschaftsyoga das Stresslevel reduzieren (gemessen an der Veränderung des Cortisolspiegels im Speichel), als auch die mütterliche Immunität steigern kann. Auch bei Krebsbehandlungen konnten positive Effekte von Yoga auf die körperliche und psychosoziale Lebensqualität der Patient*innen aufgezeigt werden (Danhauer, Addington, Sohl, Chaoul & Cohen, 2017; Galliford, Robinson, Bridge & Carmichael, 2017). Zudem führte eine Yogatherapie unter anderem verbesserte Cortisolwerte im Speichel (Galliford et al., 2017).

Fazit

Die Befunde zeigen auf, dass kA das Erleben von Stress reduziert und damit auch das Immunsystem positiv beeinflusst.

5.1.6 Ein körperlich aktiver Lebensstil ist in jedem Alter gut für das Immunsystem

Hypothese

Ein körperlich aktiver Lebensstil ist in jedem Alter (Kindheit, Jugend, Erwachsen, und ältere Erwachsene) gut für das Immunsystem.

Befunde

a. Kinder

Die Studienlage zu den Effekten von kA auf das Immunsystem bei Kindern ist noch sehr überschaubar. So wurden lediglich zwei Studien gefunden, die die positive Wirkung von kA auf das Immunsystem bei jungen Krebspatienten/innen bestätigt (Bauman, Bloch & Beulerz, 2013).

b. Jugendliche und Erwachsene

Die Studien die als Befunde zur Beantwortung dieser Frage analysiert wurden, befassten sich mit Tai-Chi, Yoga oder nicht näher definierter moderater bis intensiver kA. Bei Jugendlichen und Erwachsenen konnte eine positive Wirkung auf das Immunsystem durch Tai-Chi (Ho et al., 2013), Yoga (Falkenberg, Eising & Peters, 2018) oder genereller akuter kA (Goncalves et al., 2020; Chastin et al., 2021; Dinh et al., 2017) festgestellt werden. Tai-Chi scheint sowohl die zelluläre Immunantwort als auch die Antikörperreaktion des Immunsystems zu verbessern. Es bleibt allerdings fraglich, ob die Veränderungen der Immunparameter ausreichen, um vor Infektionen zu schützen. Die Befunde zu Yoga sind nicht ganz einheitlich, dennoch gibt es Hinweise, dass Yoga entzündungsfördernde Marker senken kann. Es wird jedoch angenommen, dass längere Zeiträume der Yogapraxis erforderlich sind, um konsistente Effekte zu erzielen. Hinsichtlich moderater bis intensiver kA wurde festgestellt, dass eine akute Belastung vorteilhafte Veränderungen verschiedener immunologischer Marker hervorruft. Die Auswirkungen auf die Immunfunktion fällt allerdings je nach Belastungsintensität und -umfang sowie in unterschiedlichen Subgruppen sehr unterschiedlich aus (Goncalves et al., 2020). Demgegenüber beeinflusst eine regelmässige Belastung nur einen geringeren Anteil, nämlich die Lymphozyten-Subpopulationen. Was die langfristigen Auswirkungen betrifft, so führte kA bei Erwachsenen zu einem Anstieg der T-Lymphozyten. Daraus lässt sich schließen, dass kA erhebliche Auswirkungen auf verschiedene zelluläre Marker des Immunsystems hat (Dinh et al., 2017), die möglicherweise die Immunoseneszenz günstig beeinflussen kann. Auch Chastin et al. (2021) bestätigen, dass regelmässige moderate bis intensive kA mit einem geringeren Risiko für Infektionskrankheiten und einer geringeren Sterblichkeit durch Infektionskrankheiten in Verbindung gebracht wird.

c. Ältere Erwachsene

Die Befundlage zu einem aktiven Lebensstil im Alter präsentiert sich eindeutig. Regelmässiges moderates Training kann das Risiko eines grippalen Infekts reduzieren und die Immunantwort auf eine Grippe- oder Pneumokokken-Impfung bei älteren Erwachsenen verbessern. Die Konzentrationen von Entzündungsmarkern wie zum Beispiel T-Zellen, Gesamtleukozyten und Lymphozyten, blieben bei den Probanden, welche an chronischer Herzinsuffizienz oder Typ-2-Diabetes litten, im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen bis in die Erholungsphase nach einer akuten körperlichen Anstrengung hinein erhöht (Ploeger et al., 2009). Welche gesundheitlichen Folgen sich aus dieser erhöhten

Immunantwort ergeben, ist sowohl hinsichtlich der Grunderkrankung als auch bezogen auf die Infektanfälligkeit aktuell noch nicht abzuschätzen. Auch Mathot et al. (2021) stellten insgesamt den grossen Einfluss von Art und Intensität der kA auf Immunoseneszenz-bezogene Marker, insbesondere bei älteren Erwachsenen, fest. Ist ein Training direkt vor der Impfung jedoch zu lange oder intensiv, kann die Immunreaktion auf eine Grippe- und Pneumokokken-Impfung eher verstärkt werden (Song et al., 2020; Sardeli et al., 2018). Insgesamt scheint sich regelmässiges (mindestens vier Wochen lang), vor allem aerobes Training bei gesunden älteren Erwachsenen günstig auf das Immunsystem auszuwirken und verminderte adaptive Reaktionen auf Fremdkörper sowie chronische Entzündungen auszugleichen (Haaland et al., 2008).

Fazit

Die Befundlage zum Einfluss von kA auf das Immunsystem in den verschiedenen Altersgruppen ist aktuell noch unzureichend. Die wenigen vorhandenen Studien zeigen allerdings einen positiven Zusammenhang zwischen einem gestärkten Immunsystem und einem regelmässigen Training bei Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen, sowie für ältere Menschen.

5.2 Welche Art der Intensität von Bewegung ist gut für das Immunsystem

5.2.1 Genügend und moderate Bewegung ist gut für das Immunsystem

Hypothese

Regelmässige moderate kA ist gut für das Immunsystem (z.B. Spazierengehen, Velofahren, Wandern, Spielen).

Befunde

Durch akute kA können je nach Dauer und Intensität Schädigungen an den Muskelfasern entstehen, die eine vorübergehende Entzündungsreaktion hervorrufen. Die Reaktion betrifft nicht nur das Muskelgewebe, sondern auch peripheres weisses Blutkörperchen Gewebe, welche wichtige Bestandteile des Immunsystems darstellen (Gjevestad, Holven & Ulven, 2015). Gjevestad, Holven, und Ulven (2015) konnten in ihrem Review zeigen, dass akute kA zwar eine unmittelbare entzündungsfördernde Reaktion auslöst, aber auch einige entzündungshemmende Marker positiv verändert. Marker sind körpereigene Proteine, die dem Immunsystem zeigen, welche Krankheitserreger angegriffen werden müssen. Länger andauernde und regelmässige kA kann ein entzündungshemmendes Milieu fördern oder die akute Reaktion auf körperliche Belastung abschwächen, was möglicherweise das Risiko für die Entwicklung von entzündungsbedingten Krankheiten verringert. Gonçalves et al. (2020) entnahmen in ihrem systematischen Review aus einer ausgewählten Studie (Nieman et al., 1995), dass eine maximale Ausbelastung auf dem Fahrradergometer einen Stressor darstellt, der das Immunsystem zusammenbrechen lässt, was eine positive chronische Anpassung

des Immunsystems fördern kann. Die erworbene Immunität wird durch die körperliche Belastung nicht gross verändert, das angeborene System hingegen reagiert anders auf den chronischen Stress der Bewegung, indem es die Anzahl der natürlichen Killerzellen erhöht und die Aktivität von neutrophilen Granulozyten verringert. Gonçalves et al. (2020) kommen in ihrem Review zum Schluss, dass aero-bes Training (bei 60-75% VO₂max) zu einer Verbesserung der Immunantwort führt, indem bestimmte Komponenten des Immunsystems (Leukozyten, Lymphozyten, Interleukine, NK-Zellen und Immuglobulin) gestärkt werden.

Fazit

Für eine langfristige Stärkung des Immunsystems werden kA vor allem im Bereich der moderaten Intensität empfohlen, da sie die Produktion von körpereigenen Proteinen für das Immunsystem fördern. Konkrete Empfehlungen welche spezifischen Aktivitäten, wie lange eine spezifische Aktivität gemacht werden sollte, oder genaue, spezifische Krankheitsrisiko-verbesserungen erlaubt die Literatur noch nicht.

5.2.2 Leichte kA ist gut für das Immunsystem

Hypothese

kA mit leichter Intensität ist besonders empfehlenswert für das Immunsystem.

Befunde

Akute Wirkung von kA:

Unmittelbar nach kA (insb. moderater bis intensiver kA) zeigt sich eine erhöhte Aktivität des Immunsystems. Bei leichter Aktivität kann keine Erhöhung verschiedener Immunzellen, wie den CD4 Zellen, T-Zellen, und Interleukin verzeichnet werden (Goncalves et al., 2019). NK-Zellen hingegen sind sowohl direkt nach leichter wie auch intensiver kA aktiver (Rumpf et al., 2021; Nieman & Wentz, 2018). Eine Entzündungsreaktion tritt insbesondere nach moderater bis intensiver kA auf (Goncalves et al., 2019), wobei der Entzündungszustand im Körper vom Umfang und der Intensität der kA abhängt (Nieman & Wentz, 2018).

Längerfristige Wirkung von kA:

In der vorliegenden Literatur wurde bisher hauptsächlich die langfristige Auswirkung von moderater bis intensiver kA auf das Immunsystem untersucht. Die Ergebnisse sind ausführlich in Punkt 5.1.1. beschrieben. Zusammenfassend kann regelmässige kA im moderaten-intensiven Bereich (3 Trainingseinheiten a 45min pro Woche über einen Zeitraum von 12 Wochen), die Funktionalität einiger Immunzellen erhöhen (Goncalves et al., 2019; Gjevestad et al., 2015) sowie (chronische) Entzündungen im Körper reduzieren (Chastin et al., 2021).

Obwohl die Auswirkungen von leichter kA auf das Immunsystem nicht speziell angesprochen werden ist leichte kA besser ist als keine – daher zählt jeder Schritt (Nigg, 2002; WHO, 2020).

Fazit:

Leichte kA führt unmittelbar nur zu einer geringen Aktivierung des Immunsystems und die Reaktion des Immunsystems ist im Vergleich zu moderater und intensiver Belastung kaum oder weniger deutlich ausgeprägt. Dies führt daher zu geringeren Einschränkungen der Immunfunktion direkt nach der Belastung im Vergleich zu hoch-intensiver kA. Allerdings sind langfristige positive Effekte von kA, wie die erhöhte Funktionalität der Immunzellen und der verringerte Entzündungszustand im Körper bisher nur bei moderater-intensiver Belastung belegt.

5.2.3 Unmittelbar nach dem intensiven Sport kann das Abwehrsystem geschwächt sein - Gesunde Balance zwischen Training und Regeneration erzielt die beste Wirkung

Hypothese

Unmittelbar nach intensivem Sport kann das Abwehrsystem geschwächt sein. Zu häufige und zu intensive kA belastet das Immunsystem. Beim Training sollte darauf geachtet werden, im richtigen Pulsbereich zu bleiben.

Eine gesunde Balance zwischen Training und Regeneration erzielt langfristig die beste Wirkung.

Befunde

Die untersuchten Studien beziehen sich auf moderate – intensive kA. (Gjevestad, Holven & Ulven 2015; Gonçalves et al., 2020; Chastin et al., 2021; Ranieri et al., 2009; Souza et al., 2021). Laut

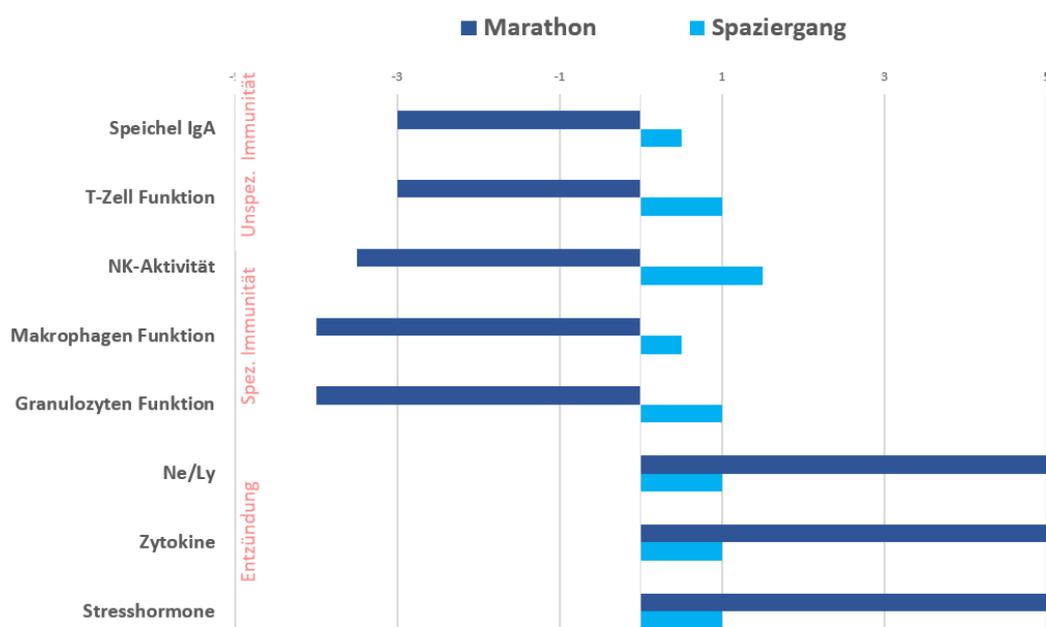


Abbildung 6 Unterschied in den akuten Immunantworten zwischen langer, hoch-intensiver kA (z.B. einem Marathonlauf) und einem 30-45-minütigen Spaziergang (adaptiert nach Nieman & Wentz (2018))

Souza et al. (2021) ist es weitgehend akzeptiert, das regelmässiges, moderates bis intensives Training von kurzer bis mittlerer Dauer (<60 min), zu einer langfristigen Verbesserung der Immunabwehr assoziiert ist. Hingegen kann eine akute, hochintensive oder hochvolumige aerobe Belastung (>90% der VO₂max; >60min Dauer) vorübergehend zu negativen Veränderungen der Immunzellenzahl und -funktion führen, die zwischen 3-72 Stunden andauern. Diese Einschränkungen können verschiedenen Immunfunktionen unterdrücken und somit das Infektionsrisiko nach der kA erhöhen (Nieman & Wentz, 2018; s. auch Abbildung 5). Abbildung 6 verdeutlicht den Unterschied in den akuten Immunantworten zwischen einer hochvolumigen Belastung (z. B ein Marathonlauf) und einem 30-45-minütigen Spaziergang. Es wird ersichtlich, dass ein Marathon grössere und länger andauernde Veränderungen in diversen Teilbereichen des Immunsystems auslöst im Vergleich zu einem Spaziergang. So ist beispielsweise die T-Zell Funktion und die NK-Aktivität nach einem Spaziergang leicht gesteigert, während sie nach einem Marathon stark unterdrückt wird.

Es ist daher wichtig, zwischen den Trainingseinheiten genügend Regenerationszeit einzuplanen, um dem Immunsystem Zeit für die Erholung zu geben. Auf der Grundlage des systematischen Reviews von Souza et al. (2021) kann ein einziges (akutes) Intervalltraining eine vorübergehende Störung des Immunsystems bewirken, gefolgt von einer verringerten Immunfunktion. Ein regelmässiges Intervalltraining (Intervalle <90% der VO₂max, 60sek/Intervall, Gesamttrainingsdauer: >60min; 3x pro Woche) führt hingegen zu günstigeren Anpassungen der Immunfunktion und verbessern kurz- bis langfristig die Immunüberwachung, ohne die Anzahl der Immunzellen zu verändern.

Laut Ranieri et al. (2009) steigt die Anzahl und Aktivität der NK-Zellen unmittelbar nach einer kA an. Nach einer Stunde fällt es unter das Niveau vor der Aktivität und nach 3,5 Stunden steigt die Anzahl wieder an. Während bei den Probanden, die bei leichter Intensität (50 % VO₂max) aktiv waren, die NK-Aktivität wieder auf das Niveau vor der Aktivität zurückging, erreichte die NK-Aktivität von denjenigen, die intensiv kA (80 % VO₂max) verrichtet haben, einen höheren Wert als vor dem Training. Ranieri et al. (2009) interpretierten das Ergebnis als kurzzeitige Überstimulation des Immunsystems, die übermässige Entzündungsprozesse hervorruft.

Fazit

Grosser positiver Effekt ohne grosse Risiken für das Immunsystem von kA im Bereich der moderaten Intensität. Eine gesunde Balance zwischen Training und Regeneration ist sehr wichtig, da das Immunsystem nach akuten, hochintensiven (>90% der HFmax) Belastungen oder Belastungen mit sehr hohem Umfang eine Immunsuppression hervorrufen kann, wodurch das Risiko für eine Infektionskrankheit steigt. Die negative Veränderung der Immunzellenzahl und -funktion benötigt ca. 3-72 Stunden (je nach Intensität und Umfang), um sich zu erholen. Wird der Trainingsreiz zu früh angesetzt, ist das Immunsystem noch geschwächt und reagiert schlechter auf allfällige Gesundheitsrisiken.

5.3 Äussere Faktoren

5.3.1 Bewegung draussen in der Natur und bei Tageslicht: Vitamin D- Bildung

Hypothese

Vitamin D stimuliert die Fresszellen im Blut und ist damit günstig für die Abwehr von Krankheitserregern, etwa Bakterien und Viren.

Regelmässige, moderate Bewegung an der freien Luft und bei Tageslicht hat einen positiven Einfluss auf unser Immunsystem (via verschiedene Mechanismen).

Befunde

Wie ausführlich unter 3.2. beschrieben, kann Vitamin D einen positiven Einfluss auf unser Immunsystem haben (Hewison, 2010). Vitamin D regt die Produktion von Makrophagen an (Hewison, 2010) und erhöht die Aktivität der natürlichen Killerzellen (NK) (Zittermann, 2012). Im Gegensatz dazu ist ein niedriger Vitamin D Haushalt mit einer Aktivierung von Entzündungsprozessen assoziiert und kann somit das Immunsystem negativ beeinflussen (Murr et al., 2012).

Die angenommene Kausalkette von kA auf das Immunsystem via Erhöhung des Vitamin D Serum-Levels wurde in Reviews und Metaanalysen bislang (noch) nicht direkt erforscht. Allerdings zeigte sich in umfangreichen statistischen Erhebungen wie dem „National Health and Nutrition Examination Survey“ ein Zusammenhang zwischen einer höheren Vitamin D Serum-Konzentration (Looker, 2007; Brock et al., 2010; Foo et al. 2009) und einem höheren kA Niveau. Dieser tritt in verschiedenen Altersgruppen auf und wurde sowohl bei Jugendlichen (Foo et al., 2009), bei Erwachsenen (Looker, 2007), wie auch bei älteren Erwachsenen (Bell et al., 1988; Wanner et al., 2015) beobachtet. Allerdings wird dabei nicht deutlich, ob eine direkte lineare Beziehung zwischen Vitamin D und kA besteht oder ob weitere Faktoren wie das Setting (Indoor vs. Outdoor) oder die Sonnenlichtexposition massgeblich den Vitamin D Metabolismus beeinflussen (Looker, 2007; Scott, 2015; Scott et al., 2010).

Fazit

Ein ausgeglichener Vitamin D Haushalt ist wichtig für die Funktionalität unseres Immunsystems. Zudem kann ein Vitamin D Mangel unser Immunsystem negativ beeinflussen.

Die aktuelle Studienlage deutet darauf hin, dass sich ein höheres Vitamin D Serum Level in Verbindung steht mit einem höheren kA Niveau.

5.3.2 Bewegung draussen: Luftzusammensetzung

Hypothese

Bewegung an der frischen Luft: Die Luftzusammensetzung im Freien wirkt sich positiver auf die Atemwege sowie das Immunsystem aus als die Luftzusammensetzung in Innenräumen («Waldbaden», Spiel draussen, Wandern, Velofahren, Skifahren...).

Befunde

Der Zusammenhang zwischen Bewegung im Freien oder in Innenräumen und dem Immunsystem wurde bisher (noch) nicht direkt in Reviews und Metaanalysen erforscht. Jedoch konnten in einer freien Literatursuche Studienergebnisse zum Effekt von „Waldbaden“ und der Luftverschmutzung auf das Immunsystem gefunden werden.

Erläuterung Waldbaden

Waldbaden basiert auf einer japanischen Achtsamkeitspraxis Shinrin-Yoku, einer Erfahrung mit allen fünf Sinnen (Sehen, Riechen, Schmecken, Hören, Fühlen) in einer Waldumgebung, die einen positiven Einfluss auf physische und psychische Gesundheit hat (Wen et al., 2019). Spezifisch wird davon ausgegangen, dass das Immunsystem verbessert werden kann, die Stimmung positiv beeinflusst wird und Angst und Depression verringert werden (Wen et al., 2019). Die genauen Mechanismen hinter den Effekten sind allerdings noch nicht klar definiert und weitere Studien sind notwendig (Wen et al., 2019).

Waldbaden und das Immunsystem

Waldbaden hat durch die akute Reduktion von Zytokinen und Stresshormonen wie Adrenalin einen entzündungsmindernden Effekt, der sich wiederum auf die Aktivität von natürlichen Killerzellen (Jia et al., 2016; Li, 2010) und Interleukin-6 (Mao et al., 2018) auswirkt. In den Studien von Gladwell et al. (2013). Li et al. (2008) und Li (2010) zeigt sich eine erhöhte Aktivität der NK bereits nach einem 3-tägigen Waldaufenthalt über einen anschliessenden Zeitraum von 7-30 Tagen. Die Aktivität der NK steigt dabei um bis zu 50% an (Li et al., 2007). Neben der Aktivität erhöht sich ebenfalls die absolute Konzentration von NK Zellen nach einem Waldaufenthalt (Li et al., 2007). Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen Tsao et al. (2018) bei der Untersuchung eines 5-tägigen Waldaufenthaltes. Dabei zeigt sich anschliessend an den Waldaufenthalt höhere Immunantwort und Aktivität von natürlichen Killerzellen (Tsao et al., 2018). Diese Ergebnisse werden in der Übersichtsarbeit von Peterfalvi et al. (2019) bestätigt. Der positive Einfluss des Waldbadens auf das Immunsystem könnte auf die Einatmung von den Bäumen abgesonderte essentielle Ölen zurückgeführt werden (Peterfalvi et al., 2019). Aber auch weitere Faktoren werden als mögliche Ursachen für den positiven Effekt von Waldaufenthalt diskutiert, wie unter anderem die Stressreduktion und Entspannungswirkung, reduzierte Luftverschmutzung, und visuelle, auditive und mentale Effekte (Peterfalvi et al., 2019).

Luftverschmutzung und das Immunsystem

In der Übersichtsarbeit von Glencross et al. (2018) wird aufgezeigt, dass Luftverschmutzung einen entzündungsfördernden Zustand im Körper hervorruft. Vergleichbar zu Erkrankungen wie Allergien oder Asthma führt Luftverschmutzung zu einer erhöhten Aktivität von verschiedenen T-Helferzellen,

die wiederum zu einer eingeschränkten Immunantwort bei einer Virusinfektion führen (Glencross et al., 2018).

Fazit

Wird kA direkt in der Natur ausgeübt (z.B. Waldbaden), hat dies einen akuten- sowie langfristig (bis zu 30 Tagen) positiven Einfluss auf das Immunsystem. Luftverschmutzung hingegen kann durch ein zusätzliches hervorrufen von Entzündungsprozessen im Körper, die Immunantwort beeinträchtigen.

5.3.3 Sport bei Kälte/Hitze

Hypothese:

kA bei extremen Witterungsbedingungen schwächt das Immunsystem zusätzlich.

Befunde

a. Kälteexposition in Ruhe

Kälteexposition führt zu einem erhöhten Stress für den Körper, welcher wiederum einen akuten negativen Einfluss auf das Immunsystem nehmen kann. Eine Kälteexposition in Ruhe führt zu einer Erhöhung der Katecholamine im Körper. Diese haben wiederum einen Einfluss auf die Funktion der Immunzellen und führen zu einer Erhöhung der Leukozyten im Blut, zu Entzündungsreaktionen, einem Anstieg der NK Zellaktivität und einer Vermehrung der Lymphozyten (LaVoy et al., 2011; Jansky, 1996). Diese konnten bei einer passiven Exposition über 2h bei einer Umgebungstemperatur von 5 Grad Celcius sowie einer einstündigen Kaltwasseranwendung bei 14° Wassertemperatur gefunden werden. Die Reaktionen können bis zu 48h Stunden anhalten, und die Stärke der Reaktion ist abhängig von der Temperatur (LaVoy et al., 2011).

b. Kälteexposition unter Belastung

Konkret führt kA bei gleichzeitiger Kälteexposition zu einem erhöhten Anstieg von Stresshormonen wie Katecholaminen und Cortisol (LaVoy et al., 2011). Die direkte Auswirkung von Kälte auf das Immunsystem unter Belastung ist allerdings in der Literatur nicht eindeutig. So zeigt sich in einigen Studien ein immunsupprimierender (negativen) Effekt von leichter kA bei Kälte (60min bei 3-8°) (Gaeini et al., 2012; McFarlin & Mitchell, 2003). Hingegen konnte bei anderen Studien kein Effekt auf verschiedene Marker des Immunsystems erhoben werden (LaVoy et al., 2011; Satarifard et al., 2011). Die inkonsistenten Ergebnisse könnten nach LaVoy et al. (2011) unter anderem von der Temperatur abhängen, da kältere Temperaturen zu einer höheren Immunreaktion führen, sowie von der individuellen Temperaturgewöhnung beeinflusst werden.

c. Hitzeexposition

Neben extremer Kälte kann auch extreme Hitze (35-38°) eine höhere Stressreaktion hervorrufen. Dieser additive Stress führt zu einer Erhöhung der Interleukine, neutrophilen Granulozyten, Lymphozyten und NK-Aktivität was wiederum die Immunantwort kurzfristig nach der Belastung einschränken kann (McFarlin & Mitchell, 2003; Satarifard et al., 2012).

Fazit

Kälte (<8°) sowie extreme Hitze (>35°) in Kombination mit Bewegung sind ein zusätzlicher Stressor für den Körper und können so unser Immunsystem akut beeinträchtigen.

6. Schlussfolgerungen

Unser gesamter Lebensstil - einschliesslich unserer Bewegungsgewohnheiten, kann die Funktion und Aktivität unseres Immunsystems massgeblich beeinflussen.

- **Kurzfristig** kann **eine einzelne** moderate bis hochintensive kA zu ungünstigen Veränderungen der Immunzellen führen und somit das Immunsystem **schwächen**. Diese Veränderungen können bis zu 6h nach der kA anhalten. Bei einer akuten Infektion sollte auf kA im moderaten – hochintensiven Bereich verzichtet werden, da dies, neben dem bereits bekannten hohen kardiovaskulären Risiko, auch die Immunfunktion weiter beeinträchtigen kann. Daher ist die Regelmässigkeit von Bewegung wichtig und gut für das Immunsystem.
- **Längerfristige** Effekte deuten auf eine positive Wirkung von **regelmässiger** moderater bis intensiver **Bewegung** auf die Aktivität und Funktionalität verschiedener Zellen unseres Immunsystems hin. Dies kann die Immunfunktion verbessern.
- Regelmässige, moderate kA kann die **Dauer von Atemwegsinfektionen um bis zu 40-50% reduzieren**.
- Mindestens 150min Bewegung pro Woche mit mittlerer oder höherer Intensität **senkt das Sterblichkeitsrisiko bei einer Atemwegsinfektion um bis zu 37%**. Das **Sterberisiko durch Covid-19 ist bei inaktiven Patientinnen und Patienten 2.49-mal höher** als bei regelmässig Aktiven.
- Körperliche **Inaktivität** (weniger als 150min kA pro Woche bei mittlerer Intensität) hingegen **erhöht das Risiko bei einer COVID-19-Infektion hospitalisiert zu werden um das 2,26-fache** und das **Risiko auf der Intensivstation behandelt werden zu müssen um das 1,73-fache**.
- kA kann **Stress abbauen** und somit einen positiven Einfluss auf das Immunsystem ausüben und **Entzündungsreaktionen verringern**.
- kA steht in einem negativen Zusammenhang mit dem Schweregrad einer Erkrankung der oberen Atemwege bzw. dem Hospitalisierungs- und Sterblichkeitsrisiko bei einer Infektion der oberen Atemwege hin. Somit kann ein höheres kA-Level den **Schweregrad einer Er-**

krankung verringern. Ein Zusammenhang zwischen kA und einem grundlegenden Infektionsrisiko konnte bei Atemwegsinfektionen wie Erkältungen, Schnupfen und Rachenentzündungen hingegen nicht bestätigt werden. Hingegen kann regelmässige moderate kA (3x pro Woche) die **Wirksamkeit von Grippeimpfungen erhöhen.**

- Der angenommene indirekte Effekt von kA auf das Immunsystem über metabolische Prozesse wurde bisher in Reviews und Metaanalysen nicht untersucht. Jedoch legen Studien nahe, dass sich **spezifische biochemische Marker, die sowohl den Metabolismus als auch das Immunsystem beeinflussen, durch kA erhöhen** lassen.
- Der positive Zusammenhang zwischen regelmässiger kA und dem Immunsystem besteht sowohl bei **Kindern, Jugendlichen, Erwachsenen und älteren Erwachsenen.**
- Um das Immunsystem zu stärken, empfiehlt es sich, möglichst regelmässig aktiv zu sein. Längerfristig kann regelmässige moderate bis intensive kA im Körper entzündungshemmende Reaktionen unterstützen. Um über eine Stressreduktion einen Einfluss auf unser Immunsystem zu nehmen, empfehlen sich vor allem Mind-Body-Intervention oder -Therapien (wie Tai-Chi, Yoga, Qigong), da sie positiv auf physiologische und psychologische Aspekte des Menschen auswirken. Ebenfalls zeigt sich ein stressreduzierender Effekt durch kA in der **Natur, wie z.B. beim aktiven Waldbaden.**
- **Hochintensive** (>90% HF_{max.}) oder aerobe Aktivitäten mit einem hohen Umfang können unmittelbar nach der Aktivität entzündungsfördernde Reaktionen auslösen und die Immunfunktion kurzfristig über einen Zeitraum von ca. 3 bis 72 Stunden einschränken. Daher ist es wichtig, insbesondere bei intensiveren Belastungen oder Aktivitäten mit einem höheren Umfang, eine ausreichende **Regenerationszeit** zwischen den Trainingseinheiten einzuplanen, um die kurzfristige Einschränkung des Immunsystems nicht zu verstärken und langfristig eine Verbesserung der Immunabwehr hervorzurufen. **Längerfristig betrachtet kann allerdings intensives Intervalltraining zu einer anhaltenden Verbesserung des Immunsystems führen.** Allgemein empfiehlt sich, an zwei bis vier Tagen der Woche für 30-60 Minuten im moderaten bis intensiven Bereich aktiv zu sein und auf ausreichend Regeneration zwischen den einzelnen Aktivitätseinheiten zu achten.
- Zudem kann kA **draussen** bei Tageslicht zu einer Stimulation der **Vitamin D** Konzentration in unserem Körper führen und somit zusätzlich unser Immunsystem fördern. Dabei empfiehlt es sich auf einen angemessenen Sonnenschutz zu achten, um negative Folgen einer zu langen oder intensiven Sonnenexposition zu vermeiden.

- kA direkt in der **Natur**, wie z.B. das Waldbaden, hat einen akuten sowie längerfristigen (bis zu **30 Tage**) **positiven Einfluss** auf das Immunsystem.
- Ein **dreitägiger Waldaufenthalt erhöht die Aktivität von NK-Zellen um bis zu 50%**.
- **Luftverschmutzung** hingegen kann durch ein zusätzliches Hervorrufen von Entzündungsprozessen im Körper die Immunantwort beeinträchtigen.
- Allerdings sollte bei kA im Freien auf die Wahl der Tageszeit bzw. von angepasster Bekleidung geachtet werden. **Kälte** wie auch **Hitze** sind ein zusätzlicher Stressor für unseren Körper und können so den positiven Effekt von kA auf unser Immunsystem durch eine erhöhte Stressreaktion einschränken. Daher empfiehlt es sich, Tageszeiten zu wählen, zu denen die Temperatur möglichst angenehm ist und adäquate Bekleidung zu tragen, um starkes Frieren oder Schwitzen zu vermeiden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass regelmässige moderate bis intensive kA – vorzugsweise draussen in der Natur an der frischen Luft (z.B. im Wald) und bei Tageslicht - bedeutend für die Funktion unseres Immunsystems ist und unter Beachtung der Empfehlungen als Schutzmassnahme vor Infektionskrankheiten wie zum Beispiel COVID-19, Grippe oder Erkältungen empfohlen werden kann.

7. Infografik

KÖRPERLICHE AKTIVITÄT & IMMUNSYSTEM

Mit regelmässiger Bewegung draussen in der Natur die Abwehrkräfte stärken und sich gesund durch das Leben bewegen.

BEFUNDE

KÖRPERLICHE AKTIVITÄT STÄRKT DIE IMMUNABWEHR

Regelmässige, moderate bis intensive körperliche Aktivität...



...wirkt positiv auf viele Bestandteile des Immunsystems.



...vermindert den Schweregrad von Krankheitsverläufen bei Atemwegsinfektionen.



...kurbelt diverse metabolische Prozesse an, die das Immunsystem positiv beeinflussen.



...reduziert das Stresserleben, stärkt dadurch das Immunsystem und stärkt die Stressresistenz.



...schützt in allen Altersstufen und unterstützt ein unbeschwertes, gesundes Altern.



... reduziert das Hospitalisierungsrisiko bei einer COVID-19 Infektion um 44%



... kann die Wirksamkeit von Impfungen erhöhen

EMPFEHLUNGEN

FÜR DAS IMMUNSYSTEM



Intensität
70-90
% max.
Herzfrequenz



Temperatur
8-35
°C



aktives
Leben
führen

WELCHE BEWEGUNG IST GUT FÜR DAS IMMUNSYSTEM?

Moderate bis intensive körperliche Aktivitäten (70-90% der maximalen Herzfrequenz) haben den grössten positiven Effekt auf das Immunsystem.



Verschiedene Arten wie Ausdauer, Kraft, Mind&Body-Aktivitäten bei moderater oder intensiver Intensität sind ideal.



Ausreichend Regeneration ist wichtig für das Immunsystem.



WELCHE ÄUSSERE FAKTOREN SPIELEN EINE ROLLE?

Regelmässige, moderate bis intensive körperliche Aktivität...



...fördert das Immunsystem am besten im Freien und bei Tageslicht.



...erhöht in Verbindung mit regelmässiger Sonnenexposition das Vitamin-D Serum Level, was positiv auf das Immunsystem wirkt.



...an frischer Luft kann akut Cytokine und Stresshormone reduzieren.



...sollte bei extremer Kälte und extremer Hitze vermieden werden, da dies das Immunsystem akut beeinträchtigen kann.

8. Literaturverzeichnis

- Alawna, M., Amro, M., & Mohamed, A. A. (2020). Aerobic exercises recommendations and specifications for patients with COVID-19: A systematic review. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci*, 24, 13049-13055.
- Arnold, R., & von Wichert, P. Der Einfluss von Katecholaminen auf die Cytokinproduktion von mononukleären Zellen des peripheren Blutes in vitro. (2003).
- Arnold, R. Der Einfluß von Katecholaminen auf die Interleukinproduktion von Monozyten in vitro. (2001).
- Baumann, F. T., Bloch, W., & Beulertz, J. (2013). Clinical exercise interventions in pediatric oncology: a systematic review. *Pediatric Research*, 74(4), 366-374.
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer, L. (2013). Das Immunsystem. In Stryer Biochemie (pp. 993-1024). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- Bello, B., & Useh, U. (2021). COVID-19: Are Non-Communicable Diseases Risk Factors for Its Severity?. *American Journal of Health Promotion*, 0890117121990518.
- Bell, N. H., Godsen, R. N., Henry, D. P., Shary, J., & Epstein, S. (1988). The effects of muscle-building exercise on vitamin D and mineral metabolism. *Journal of Bone and Mineral Research*, 3(4), 369-374.
- Bengel, J. & Jerusalem, M. (2009). Handbuch der Gesundheitspsychologie und Medizinischen Psychologie. Hogrefe Verlag GmbH & Co.: Göttingen
- Borg, G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales. *Human Kinetics*.
- Brock, K., Huang, W. Y., Fraser, D. R., Ke, L., Tseng, M., Stolzenberg-Solomon, R., ... & Graubard, B. (2010). Low vitamin D status is associated with physical inactivity, obesity and low vitamin D intake in a large US sample of healthy middle-aged men and women. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 121(1-2), 462-466.
- Buric, I., Farias, M., Jong, J., Mee, C., & Brazil, I. A. (2017). What is the molecular signature of mind-body interventions? A systematic review of gene expression changes induced by meditation and related practices. *Frontiers in Immunology*, 8, 670.
- Cao Dinh, H. C., Beyer, I., Mets, T., Onyema, O. O., Njemini, R., Renmans, W., Bautmans, I. (2017). Effects of physical exercise on markers of cellular immunosenescence: a systematic review. *Calcified Tissue International*, 100(2), 193-215.
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100(2), 126.
- Cencioni, M. T., Chiurchiù, V., Catanzaro, G., Borsellino, G., Bernardi, G., Battistini, L., & Maccarrone, M. (2010). Anandamide suppresses proliferation and cytokine release from primary human T-lymphocytes mainly via CB2 receptors. *PLoS one*, 5(1), e8688.

- Cerqueira, E., Marinho, D. A., Neiva, H. P., & Lourenço, O. (2020). Inflammatory effects of high and moderate intensity exercise – A systematic review. *Frontiers in Physiology*, *10*, 1550.
- Chastin, S. F., Abaraogu, U., Bourgois, J. G., Dall, P. M., Darnborough, J., Duncan, E., ... & Hamer, M. (2021). Effects of regular physical activity on the immune system, vaccination and risk of community-acquired infectious disease in the general population: systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, *51*(8):1673-1686.
- Clark, B. K., Sugiyama, T., Healy, G. N., Salmon, J., Dunstan, D. W., & Owen, N. (2009). Validity and reliability of measures of television viewing time and other non-occupational sedentary behaviour of adults: a review. *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*, *10*(1), 7–16.
- Clemente-Suárez VJ, Navarro-Jiménez E, Jimenez M, Hormeño-Holgado A, Martinez-Gonzalez MB, Benitez-Agudelo JC, Perez-Palencia N, Laborde-Cárdenas CC, Tornero-Aguilera JF. (2021). Impact of COVID-19 Pandemic in Public Mental Health: An Extensive Narrative Review. *Sustainability*. *13*(6):3221.
- Clemente-Suárez, V. J., Beltrán-Velasco, A. I., Ramos-Campo, D. J., Mielgo-Ayuso, J., Nikolaidis, P. A., Belando, N., & Tornero-Aguilera, J. F. (2021). Physical activity and COVID-19. The basis for an efficient intervention in times of COVID-19 pandemic. *Physiology & Behavior*, 113667.
- Danhauer, S. C., Addington, E. L., Sohl, S. J., Chaoul, A., & Cohen, L. (2017). Review of yoga therapy during cancer treatment. *Supportive Care in Cancer*, *25*(4), 1357-1372.
- Domnich, A., Manini, I., Calabrò, G. E., de Waure, C., & Montomoli, E. (2019). Mapping host-related correlates of influenza vaccine-induced immune response: An umbrella review of the available systematic reviews and meta-analyses. *Vaccines*, *7*(4), 1-26
- Falkenberg, R. I., Eising, C., & Peters, M. L. (2018). Yoga and immune system functioning: a systematic review of randomized controlled trials. *Journal of Behavioral Medicine*, *41*(4), 467-482.
- Faller, A., & Schünke, M. (2008). *Der Körper des Menschen* (Vol. 15). Thieme.
- Foo, L. H., Zhang, Q., Zhu, K., Ma, G., Trube, A., Greenfield, H., & Fraser, D. R. (2009). Relationship between vitamin D status, body composition and physical exercise of adolescent girls in Beijing. *Osteoporosis International*, *20*(3), 417-425.
- Fox, K. R. (1999). The influence of physical activity on mental well-being. *Public Health Nutrition*, *2*(3a), 411–418. <https://doi.org/DOI: 10.1017/S1368980099000567>
- Friman, G., Wesslén, L., & Rønsen, O. (2017). 13. Infeksjoner og idrett. Aktivitetshåndboken, 177.
- Fuchs, R., Klaperski, S., Gerber, M. & Seelig, H. (2015). Messung der Bewegungs- und Sportaktivität mit dem BSA-Fragebogen: Eine methodische Zwischenbilanz. *Zeitschrift für Gesundheitspsychologie*, *23*, 60-76. DOI: 10.1026/0943-8149/a000137
- Gaeini, A. A., Choobineh, S., & Satarifard, S. (2012). Relationship between athlete's men cortisol with leukocytosis and Neutrophils numbers after exercise in cold, warm and normal temperatures conditions. *Journal of Fasa University of Medical Sciences*, *1*(4), 238-243.

- Galliford, M., Robinson, S., Bridge, P., & Carmichael, M. (2017). Salute to the sun: a new dawn in yoga therapy for breast cancer. *Journal of Medical Radiation Sciences*, 64(3), 232-238.
- Gjevestad, G. O., Holven, K. B., & Ulven, S. M. (2015). Effects of exercise on gene expression of inflammatory markers in human peripheral blood cells: a systematic review. *Current Cardiovascular Risk Reports*, 9(7), 1-17.
- Gladwell, V. F., Brown, D. K., Wood, C., Sandercock, G. R., & Barton, J. L. (2013). The great out-doors: how a green exercise environment can benefit all. *Extreme Physiology & Medicine*, 2(1), 1-7.
- Glencross, D. A., Ho, T. R., Camina, N., Hawrylowicz, C. M., & Pfeffer, P. E. (2020). Air pollution and its effects on the immune system. *Free Radical Biology and Medicine*, 151, 56-68.
- Gonçalves, C. A. M., Dantas, P. M. S., Dos Santos, I. K., Dantas, M., da Silva, D. C. P., Cabral, B. G. D. A. T. et al. (2020). Effect of acute and chronic aerobic exercise on immunological markers: a systematic review. *Frontiers in Physiology*, 10, 1602.
- Grande, A. J., Reid, H., Thomas, E. E., Nunan, D., & Foster, C. (2016). Exercise prior to influenza vaccination for limiting influenza incidence and its related complications in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (8).
- Grotenhermen, F. (2018). Endogene Cannabinoide und das Endocannabinoidsystem. In *Handbuch Psychoaktive Substanzen* (pp. 411-420). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Haaland, D. A., Sabljic, T. F., Baribeau, D. A., Mukovozov, I. M., & Hart, L. E. (2008). Is regular exercise a friend or foe of the aging immune system? A systematic review. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 18(6), 539-548.
- Hewison, M. (2010). Vitamin D and the intracrinology of innate immunity. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 321(2), 103-111.
- Ho, R. T., Wang, C. W., Ng, S. M., Ho, A. H., Ziea, E. T., Wong, V. T., & Chan, C. L. (2013). The effect of t'ai chi exercise on immunity and infections: a systematic review of controlled trials. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 19(5), 389-396.
- Janský, L., Pospíšilová, D., Honzova, S., Uličný, B., Šrámek, P., Zeman, V., & Kaminkova, J. (1996). Immune system of cold-exposed and cold-adapted humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 72(5), 445-450.
- Kwon, R., Kasper, K., London, S., & Haas, D. M. (2020). A systematic review: The effects of yoga on pregnancy. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 250, 171-177.
- LaVoy, E. C., McFarlin, B. K., & Simpson, R. J. (2011). Immune responses to exercising in a cold environment. *Wilderness & Environmental Medicine*, 22(4), 343-351.
- Li, Q. (2010). Effect of forest bathing trips on human immune function. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 15(1), 9-17.
- Li, Q., Morimoto, K., Nakadai, A., Inagaki, H., Katsumata, M., Shimizu, T., ... & Kawada, T. (2007). Forest bathing enhances human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins.

- International Journal of Immunopathology and Pharmacology*, 20(2_suppl), 3-8.
- Li, Q., Morimoto, K., Kobayashi, M., Inagaki, H., Katsumata, M., Hirata, Y., ... & Miyazaki, Y. (2008). A forest bathing trip increases human natural killer activity and expression of anti-cancer proteins in female subjects. *J Biol Regul Homeost Agents*, 22(1), 45-55.
- Li, C., Li, Z., Guo, J., Yang, Y., Liu, C., Wang, M., & Zhu, Y. (2021). The hotspots and trends of coronavirus disease 2019 (COVID-19) and physical therapy: a bibliometric and visual analysis. *Journal of Physical Therapy Science*, 33(12), 903-907.
- Löllgen, H. (2015). Gesundheit, Bewegung und körperliche Aktivität. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 2015; 66: 139-140.
- Love, M. F., Sharrief, A., Chaoul, A., Savitz, S., & Beauchamp, J. E. S. (2019). Mind-body interventions, psychological stressors, and quality of life in stroke survivors: A systematic review. *Stroke*, 50(2), 434-440.
- Maccarrone, M., Bab, I., Bíró, T., Cabral, G. A., Dey, S. K., Di Marzo, V., ... & Zimmer, A. (2015). Endocannabinoid signaling at the periphery: 50 years after THC. *Trends in Pharmacological Sciences*, 36(5), 277-296.
- Mathot, E., Liberman, K., Dinh, H. C., Njemini, R., & Bautmans, I. (2021). Systematic review on the effects of physical exercise on cellular immunosenescence-related markers-An update. *Experimental Gerontology*, 149, 111318.
- Mao, G. X., Cao, Y. B., Yan, Y. A. N. G., Chen, Z. M., Dong, J. H., Chen, S. S., ... & Wang, G. F. (2018). Additive benefits of twice forest bathing trips in elderly patients with chronic heart failure. *Biomedical and Environmental Sciences*, 31(2), 159-162.
- McFarlin, B. K., & Mitchell, J. B. (2003). Exercise in hot and cold environments: differential effects on leukocyte number and NK cell activity. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 74(12), 1231-1236.
- McGuire D. K., Levine B. D., Williamson J. W., et al. (2001). A 30-year follow-up of the Dallas bed rest and training study: I. Effect of age on the cardiovascular response to exercise. *Circulation*. 104(12):1350–1357.
- Morgan, N., Irwin, M. R., Chung, M., & Wang, C. (2014). The effects of mind-body therapies on the immune system: meta-analysis. *PloS one*, 9(7), e100903.
- Murr C, Pilz S, Grammer TB et al. Vitamin D deficiency parallels inflammation and immune activation, the Ludwigshafen Risk and Cardiovascular Health (LURIC) study. *Clin Chem Lab Med* 2012; 50: 2205-2212
- Nieman, D. C., & Wentz, L. M. (2019). The compelling link between physical activity and the body's defense system. *Journal of Sport and Health Science*, 8(3), 201-217.
- Nieman, D., Brendle, D., Henson, D., Suttles, J., Cook, V., Warren, B., et al. (1995). Immune function in athletes versus nonathletes. *Int. J. Sports Med*. 16, 329–333.

- Nigg, C. R. (2002). Physical Activity Assessment Issues in Population Based Interventions: A Stage Approach, (pp. 227-239). G. J. Welk (Ed.), *Physical Activity Assessments for Health-Related Research*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Peterfalvi, A., Miko, E., Nagy, T., Reger, B., Simon, D., Miseta, A., ... & Szereday, L. (2019). Much more than a pleasant scent: a review on essential oils supporting the immune system. *Molecules*, 24(24), 4530.
- Ploeger, H. E., Takken, T., De Greef, M. H., & Timmons, B. W. (2009). The effects of acute and chronic exercise on inflammatory markers in children and adults with a chronic inflammatory disease: a systematic review. *Exerc Immunol Rev*, 15(1), 6-41.
- Puta, C., Gabriel, B., & Gabriel, H. (2017). Sport und Immunsystem. In *Kompodium der Sportmedizin* (pp. 389-415). Springer, Vienna.
- Ranieri, M., Megna, M., Lancioni, G. E., Jirillo, E., Amico, A. P., Nardulli, M. et al. (2009). Physical exercise and the immune system. *International Journal of Immunopathology and Pharmacology*, 22(3), 29-32.
- Raulien, N. (2017). Immunmetabolismus und Inflammation. *Zeitschrift für Rheumatologie*, 76(8), 705-707.
- Reiner, M., Niermann, C., Jekauc, D., & Woll, A. (2013). Long-term health benefits of physical activity - a systematic review of longitudinal studies. *BMC Public Health*, 13, 813. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-813>
- Rodrigues, E. V., Gomes, A. R. S., Tanhoffer, A. I. P., & Leite, N. (2014). Effects of exercise on pain of musculoskeletal disorders: a systematic review. *Acta Ortopedica Brasileira*, 22, 334-338.
- Roth, E., Schober-Halper, B., & Wessner, B. (2018). Immunsystem. In *Molekulare Sport- und Leistungsphysiologie* (pp. 265-288). Springer, Vienna.
- Rumpf, C., Proschinger, S., Schenk, A., Bloch, W., Lampit, A., Javelle, F., & Zimmer, P. (2021). The effect of acute physical exercise on NK-cell cytolytic activity: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 1-12.
- Sallis, R., Young, D. R., Tartof, S. Y., Sallis, J. F., Sall, J., Li, Q., ... & Cohen, D. A. (2021). Physical inactivity is associated with a higher risk for severe COVID-19 outcomes: a study in 48 440 adult patients. *British Journal of Sports Medicine*, 55, 1099–1105.
- Sardeli, A. V., Tomeleri, C. M., Cyrino, E. S., Fernhall, B., Cavaglieri, C. R., & Chacon-Mikahil, M. P. T. (2018). Effect of resistance training on inflammatory markers of older adults: A meta-analysis. *Experimental Gerontology*, 111, 188-196.
- Satarifard, S., Gaeini, A. A., & Choobineh, S. (2011). The effect of exercise on the total number of blood leukocytes and platelets of the athletes in cold, warm and normal temperature conditions. *Armaghane Danesh*, 16(5), 433-443.
- Satarifard, S., Gaeini, A. A., Choobineh, S., & Neek, L. S. (2012). Effects of acute exercise on serum interleukin-17 concentrations in hot and neutral environments in trained males. *Journal of Thermal*

- Biology*, 37(5), 402-407.
- Schauenstein, K., & Liebmann, P. (2006). Regulation von Immunfunktionen durch Katecholamine. Lehrbuch der klinischen Pathophysiologie komplexer chronischer Erkrankungen. Bd. 1, 91-102.
- Scott, D., Blizzard, L., Fell, J., Ding, C., Winzenberg, T., & Jones, G. (2010). A prospective study of the associations between 25-hydroxy-vitamin D, sarcopenia progression and physical activity in older adults. *Clinical Endocrinology*, 73(5), 581-587.
- Scott, D., Ebeling, P. R., Sanders, K. M., Aitken, D., Winzenberg, T., & Jones, G. (2015). Vitamin d and physical activity status: associations with five-year changes in body composition and muscle function in community-dwelling older adults. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 100(2), 670-678.
- Scragg, R., & Camargo Jr, C. A. (2008). Frequency of leisure-time physical activity and serum 25-hydroxyvitamin D levels in the US population: results from the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *American Journal of Epidemiology*, 168(6), 577-586.
- Singh, K., Mittal, S., Gollapudi, S., Butzmann, A., Kumar, J., & Ohgami, R. S. (2021). A meta-analysis of SARS-CoV-2 patients identifies the combinatorial significance of D-dimer, C-reactive protein, lymphocyte, and neutrophil values as a predictor of disease severity. *International Journal of Laboratory Hematology*, 43(2), 324-328.
- Slavich, G. M., & Irwin, M. R. (2014). From stress to inflammation and major depressive disorder: a social signal transduction theory of depression. *Psychological Bulletin*, 140(3), 774.
- Song, Y., Ren, F., Sun, D., Wang, M., Baker, J. S., István, B., & Gu, Y. (2020). Benefits of exercise on influenza or pneumonia in older adults: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2655.
- Souza, D., Vale, A. F., Silva, A., Araújo, M. A., de Paula Júnior, C. A., de Lira, C. A. et al. (2021). Acute and Chronic Effects of Interval Training on the Immune System: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Biology*, 10(9), 868.
- Teymoori-Rad, M., Shokri, F., Salimi, V., & Marashi, S. M. (2019). The interplay between vitamin D and viral infections. *Reviews in Medical Virology*, 29(2), e2032.
- Tsao, T. M., Tsai, M. J., Hwang, J. S., Cheng, W. F., Wu, C. F., Chou, C. C., & Su, T. C. (2018). Health effects of a forest environment on natural killer cells in humans: An observational pilot study. *Oncotarget*, 9(23), 16501.
- Valenzuela, P. L., Simpson, R. J., Castillo-García, A., & Lucia, A. (2021). Physical activity: A coadjuvant treatment to COVID-19 vaccination?. *Brain, Behavior, and Immunity*, 94, 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2021.03.003>
- Vogt, M., Brügger, O., Schütz, R., Wehrlin, J., Perret, C., Umberg, R., ... & Bürgi, A. (2005). Physiologische Trainingsintensitätszonen. Fachdokumentation 2005/1.
- Wanner, M., Richard, A., Martin, B., Linseisen, J., & Rohrmann, S. (2015). Associations between objective and self-reported physical activity and vitamin D serum levels in the US population. *Cancer*

- Causes & Control*, 26(6), 881-891.
- Warburton, D. E. R., Nicol, C. W., & Bredin, S. S. D. (2006). Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ: Canadian Medical Association Journal = Journal de l'Association Médicale Canadienne*, 174(6), 801–809. <https://doi.org/10.1503/cmaj.051351>
- Wen, Y., Yan, Q., Pan, Y., Gu, X., & Liu, Y. (2019). Medical empirical research on forest bathing (Shinrin-yoku): A systematic review. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 24(1), 1-21.
- Janský, L., Pospíšilová, D., Honzova, S., Uličný, B., Šrámek, P., Zeman, V., & Kaminkova, J. (1996). Immune system of cold-exposed and cold-adapted humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 72(5), 445-450.
- Jia, B. B., Yang, Z. X., Mao, G. X., Lyu, Y. D., Wen, X. L., Xu, W. H., ... & Wang, G. F. (2016). Health effect of forest bathing trip on elderly patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Biomedical and Environmental Sciences*, 29(3), 212-218.
- WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour. Geneva: World Health Organization; 2020. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Wu, Y., Zhang, D., & Kang, S. (2013). Physical activity and risk of breast cancer: a meta-analysis of prospective studies. *Breast Cancer Research and Treatment*, 137(3), 869–882.
- Zittermann A. Vitamin D in der Präventivmedizin. 2.. Auflage. Bremen: UNI-MED Verlag; 2012.

9. Anhang – Suchstrategie Beispiel

2011-11-11 Search A: "Systematic Reviews for Physical Activity and Immune Cells since 2010"

<https://ovidsp.ovid.com/ovid-web.cgi?T=JS&NEWS=N&PAGE=main&SHAREDSEARCHID=1u9YBsmnbFGih0vErC86Pqpr1u301S9Qw1h4OKl6TlOr3sxRc9whvJMkJyQtD21k>

Ovid MEDLINE(R) and Epub Ahead of Print, In-Process, In-Data-Review & Other Non-Indexed Citations, Daily and Versions(R) <1946 to November 11, 2021>

- 1 antibody-producing cells/ or b-lymphocytes/ or leukocytes/ or granulocytes/ or phagocytes/ or macrophages/ 309339
- 2 ("Killer Cells" or "Killer T-Cells" or Lymphocyte? or "B-Lymphocyte?" or "T-Lymphocyte?" or "Mucosal-Associated Invariant T Cells" or "Plasma Cells" or "B-Lymphoid Precursor Cells" or "T-Lymphoid Precursor Cells" or "leukocyte count?" or "white blood cell count?" or "natural killer" or "NK activity" or Granulocyte? or Phagocyte? or Macrophage? or Monocyte? or Neutrophil?).ti,ab,kw. 838813
- 3 exp Leukocyte Count/ 101364
- 4 1 or 2 or 3 1014556
- 5 exp Ergometry/ 67775
- 6 exp Exercise/ 220948
- 7 exp Physical Fitness/ 33667
- 8 exp Athletic Performance/ 58804
- 9 exp Physical Endurance/ 35640
- 10 exp Endurance Training/ 424
- 11 (physical activity or physically active).ti,ab,kw. 130807
- 12 (aerobic? or athletic? or exercise? or training?).ti,ab,kw. 804965
- 13 ((frequency or duration or intensity or endurance) adj3 (training? or exercise?)).ti,ab,kw. 39392
- 14 (workout? or work-out? or "working out").ti,ab,kw. 4187
- 15 (running? or jogging? or marathon? or walking? or hiking or trekking or trailrunning or sprint\$ or swim\$ or treadmill? or trampoline? or jumping? or bicycling? or cycling? or sport? or gymnastic? or calisthenic? or plyometric? or squat\$ or "cross-training" or "crosstraining" or "gym class\$" or "gym exercise?").ti,ab,kw. 362272
- 16 ((fitness or endurance) adj1 (training or exercise or cardiorespiratory or cardio-respiratory)).ti,ab,kw. 16647
- 17 exp Exercise Movement Techniques/ 9297

- 18 "exercise movement techniques".ti,ab,kw. 57
- 19 Locomotion/ 27286
- 20 exp Walking/ 60628
- 21 exp Swimming/ 25751
- 22 exp Running/ 22060
- 23 Leisure Activities/ 9310
- 24 Sports/ 32147
- 25 ((active adj1 leisure) or ((leisure or work or "non-work" or household) adj1 (activity or activities)) or chores or gardening).ti,ab,kw. 10017
- 26 (active adj2 (life or lives or lifestyle)).ti,ab,kw. 4191
- 27 or/5-26 1271757
- 28 4 and 27 11891
- 29 Meta-Analysis as Topic/ 20527
- 30 meta analy\$.tw. 215558
- 31 metaanaly\$.tw. 2340
- 32 Meta-Analysis/ 146405
- 33 (systematic adj (review\$1 or overview\$1)).tw. 222978
- 34 exp Review Literature as Topic/ 18245
- 35 or/29-34 369876
- 36 cochrane.ab. 105323
- 37 embase.ab. 118447
- 38 (psychlit or psyclit).ab. 916
- 39 (psychinfo or psycinfo).ab. 45650
- 40 (cinahl or cinhal).ab. 35733
- 41 science citation index.ab. 3383
- 42 bids.ab. 585
- 43 cancerlit.ab. 636
- 44 or/36-43 191152
- 45 reference list\$.ab. 19997
- 46 bibliograph\$.ab. 20113
- 47 hand-search\$.ab. 7705
- 48 relevant journals.ab. 1260
- 49 manual search\$.ab. 5130
- 50 or/45-49 48629
- 51 selection criteria.ab. 32951
- 52 data extraction.ab. 25966
- 53 51 or 52 56449

54	Review/2891150	
55	53 and 54	30902
56	Comment/	938080
57	Letter/	1158573
58	Editorial/	586298
59	animal/	6963424
60	human/	19893038
61	59 not (59 and 60)	4880146
62	or/56-58,61	6820289
63	35 or 44 or 50 or 55	442628
64	63 not 62	420562
65	28 and 64	91
66	65 and 2010:2022.(sa_year).	71

-