



Cordyceps: Eigenschaften, Wirkstoffe und wissenschaftliche Evidenz

Dr. A. Colonnese¹, R. Panzironi²

¹ Nutrition Biologist, Latina, Italy

² Independent Researcher, Latina, Italy

1. ABSTRACT

In den letzten Jahren hat Cordyceps Einzug in die Welt des Wohlbefindens, des Sports und der Nahrungsergänzungsmittel gehalten. Dieser Name bezeichnet eine große Gruppe von Pilzen und nicht etwa einen einzelnen Organismus mit einheitlichen Merkmalen. Auf dem Markt findet man jedoch häufig Extrakte aus kultivierten und selektierten Arten mit sehr unterschiedlichen chemischen Profilen. Diese Vielfalt erklärt sowohl das Interesse an Cordyceps als auch die Notwendigkeit, ihn sorgfältig zu bewerten. Seine Anziehungskraft verbindet traditionelle Anwendung, Marktinteresse und eine noch laufende medizinische Forschung. Studien haben Cordycepin, Adenosin und Polysaccharide untersucht – Moleküle mit potenziellen biologischen Wirkungen im Labor. Ein Laborergebnis beweist jedoch für sich genommen noch keinen Nutzen beim Menschen, insbesondere nicht bei Nahrungsergänzungsmitteln, Getränken oder Kapseln. Cordyceps wird häufig mit Energie, körperlicher Ausdauer, Erholung nach dem Sport und der Immunantwort in Verbindung gebracht. Gleichzeitig variiert die Qualität je nach Art, verwendetem Teil und gewähltem Extraktionsverfahren. Auch die Standardisierung (Kontrolle der Wirkstoffmenge) spielt eine Rolle, da sie die Qualität des Produkts maßgeblich beeinflussen kann. Es bedarf daher eines klaren Ansatzes, um die Natur des Pilzes und die untersuchten Verbindungen zu verstehen. Zudem müssen klinische Ergebnisse von Labordaten unterschieden werden, ohne Hypothesen mit Gewissheiten zu verwechseln. Der Artikel befasst sich insbesondere mit folgenden Themen:

- Was ist Cordyceps und warum ist er von Interesse?
- Wirkstoffe, Kultivierung und Qualität der Extrakte
- Mögliche Auswirkungen auf Energie, Ausdauer und Erholung
- Sicherheit, Wechselwirkungen und Grenzen der Evidenz
- Wie man ein Produkt bewusst auswählt

VIDEO ARTICLE



ARTICLE INFORMATION

Received: October 22, 2026

Revised: October 22, 2026

Accepted: October 22, 2026

Published: October 2026

DOI 10.5281/zenodo.placeholder

MISSION

LIFE Science Hub – Journal of Science entstand mit dem Ziel, wissenschaftliches Wissen zugänglich zu machen, ohne auf methodische Strenge, Qualität der Quellen und Verlässlichkeit der Inhalte zu verzichten. Die Zeitschrift fördert die Verbreitung von Wissen in den Gesundheits-, Ernährungs-, Medizin- und Langlebigkeitswissenschaften und schlägt so eine Brücke zwischen der Welt der Forschung und der Gesellschaft.

Durch Artikel, Übersichtsarbeiten, vertiefende Beiträge und Expertenbeiträge stärkt das Journal die evidenzbasierte Medizin und Wissenschaft, fördert eine korrekte Interpretation wissenschaftlicher Daten und tritt Fehlinformationen entgegen. Jeder Inhalt wird mit dem Ziel entwickelt, die Komplexität der Forschung in verständliche, nützliche und anwendbare Informationen zu übersetzen, wobei die Grundsätze von Genauigkeit, Transparenz und wissenschaftlicher Unabhängigkeit unangetastet bleiben.

Frei von politischen, industriellen und kommerziellen Einflüssen versteht sich die Zeitschrift als maßgeblicher und unabhängiger redaktioneller Raum, der der Förderung der wissenschaftlichen Kultur, der beruflichen Weiterbildung und dem Wachstum des Gesundheitsbewusstseins in der Bevölkerung gewidmet ist.



2. WAS IST CORDYCEPS UND WARUM WIRD DARÜBER GESPROCHEN?

Cordyceps ist ein Sammelbegriff für viele verschiedene Pilzarten und keine einheitliche Zutat. Diese Vielfalt befeuert das wissenschaftliche Interesse, führt aber auch zu Unsicherheiten bei den im Handel erhältlichen Produkten. Dasselbe Etikett kann auf unterschiedliche Arten, Pilzteile und chemische Profile hinweisen [1][2]. Das Hauptaugenmerk liegt auf Cordycepin, Adenosin und Polysacchariden. Diese Verbindungen werden hinsichtlich ihrer möglichen Auswirkungen auf den Energiehaushalt, Entzündungsprozesse, die Immunabwehr und die körperliche Leistungsfähigkeit untersucht [3][4] [5]. Um ein Ergebnis bewerten zu können, sind daher Angaben zu Präparat, Dosierung und gemessenem Effekt erforderlich. Cordyceps ist daher aus zwei Gründen für die Forschung im Bereich Ernährung und Gesundheit von Interesse. Es gibt plausible biologische Mechanismen, aber die klinischen Studien sind klein und verwenden unterschiedliche Produkte. Auch die Ergebnisse sind nicht immer einheitlich. Einige Arbeiten haben Hinweise auf eine verbesserte Ausdauer und die Aktivität bestimmter Immunzellen geliefert [6][7]. Diese Daten erfordern jedoch Vorsicht. Eine Studie an 28 Personen verwendete 4 g pro Tag über 1 Woche. Bei 10 Teilnehmern wurde der Test für weitere 2 Wochen fortgesetzt. Nach 3 Wochen stieg die aerobe Kapazität (Sauerstoffaufnahme während der Belastung). Auch die Zeit bis zur Erschöpfung nahm bei wiederholten Tests zu [6]. Das Ergebnis bezieht sich jedoch auf dieses spezifische Produkt und eine kleine Gruppe. In einer anderen kontrollierten Studie nahmen insgesamt 79 Personen 8 Wochen lang täglich 1,68 g ein. Im Vergleich zum Placebo stieg die Aktivität der Natural-Killer-Zellen, die andere Zellen erkennen und zerstören, an [7]. Diese Immunzellen helfen dabei, veränderte Zellen aufzuspüren und zu vernichten. Der Befund deutet auf eine mögliche Unterstützung der Abwehrkräfte hin, beweist jedoch keinen allgemeinen klinischen Nutzen. Eine randomisierte, kontrollierte Studie verglich FCM und 2,85 mg Cordycepin über 8 Wochen. Die Untersuchung umfasste 10 Teilnehmer pro Geschlecht und Gruppe und bewertete die metabolischen und funktionellen Auswirkungen der Art *militaris*. Insgesamt lassen diese Daten keine

sicheren Schlussfolgerungen zu. Sie zeigen jedoch, warum die Forschung an spezifischen Präparaten und kleinen Stichproben fortgesetzt wird. Es ist notwendig, zwischen Produkten, Nachweisen und tatsächlichen Grenzen zu unterscheiden, bevor mögliche Vorteile bewertet werden können. Der Name auf dem Etikett allein reicht nicht aus, um den Inhalt eines Produkts zu verstehen. Man muss die Art, die Standardisierung (Kontrolle der Wirkstoffmenge) und die Art der Anwendung kennen. Die wichtigsten Punkte sind:

- Der Name Cordyceps umfasst verschiedene Arten, die nicht die gleiche Zusammensetzung aufweisen.
- Die am besten untersuchten Verbindungen sind Cordycepin, Adenosin und bioaktive Polysaccharide.
- Die Produkte können je nach Herkunft und Verarbeitungsmethode stark variieren.
- Die moderne Forschung bewertet vor allem Effekte, die beim Menschen messbar sind.

Cordyceps ist kein einzelner Inhaltsstoff, sondern umfasst verschiedene Materialien. Diese Vielfalt verändert sowohl die Zusammensetzung als auch die untersuchten potenziellen Wirkungen. Die folgenden Abschnitte erläutern seine Identität und die Gründe für das wissenschaftliche Interesse.

2.1 Art, Herkunft und Bedeutung des Namens

Überprüfungen der Gattung verzeichnen etwa 750 identifizierte Arten [6]. Nur ein kleiner Teil wurde auf medizinische Anwendungen oder bioaktive Verbindungen hin untersucht. In Produkten sind vor allem Cordyceps sinensis und Cordyceps militaris verbreitet. Sie gehören auch zu den am besten untersuchten und kommerziell am weitesten verbreiteten Formen [1,2]. Der Gattungsname reicht daher nicht aus, um Zusammensetzung, Ausbeute oder Standardisierung zu beschreiben. Die Art kann die Konzentration von Cordycepin, Polysacchariden und anderen untersuchten Verbindungen verändern [4,5]. Um eine Studie richtig zu interpretieren, muss man wissen, welche Art und welcher Teil verwendet wurden. Diese Information ermöglicht es, das Produkt mit dem beobachteten Ergebnis in Verbindung zu bringen. Auch der Teil des Pilzes kann einen deutlichen Unterschied machen. Das Myzel ist das Geflecht aus Fäden, mit dem der Pilz wächst. Der



Fruchtkörper hingegen ist der sichtbare Teil, der die Sporen produziert. Zwei Produkte mit demselben Namen können daher sehr unterschiedliche Inhaltsstoffe aufweisen. Es handelt sich um eine Familie biologischer Materialien, nicht um einen einzelnen Inhaltsstoff. Ein Teil der Zweifel an den Nachweisen ergibt sich genau aus diesen sehr unterschiedlichen Produkten [1,2].

2.2 Bioaktive Verbindungen und Wirkungsmechanismen

Das wissenschaftliche Interesse gilt vor allem bestimmten bioaktiven Molekülen (die in der Lage sind, auf Körperprozesse einzuwirken). Die am häufigsten genannten sind Cordycepin, Adenosin und Polysaccharide [3][4]. Ersteres ist ein Nukleosid, ein Molekül, das einem Bestandteil der Nukleinsäuren ähnelt. Studien untersuchen dessen Wirkung auf zelluläre Signalwege und die Proteinsynthese. Zudem wird die Energienutzung und die Reaktion auf zellulären Stress analysiert [5][8]. Im Labor wirkt dieses Molekül auf Signalwege, die den Energieverbrauch in den Zellen regulieren. Es kann auch die Reaktion auf oxidative Schäden und die Lebensdauer der Zellen beeinflussen. Polysaccharide hingegen sind lange Ketten aus Zuckermolekülen. In verschiedenen Studienmodellen zeigten sie antioxidative und immunmodulierende (die Abwehrkräfte regulierende) Wirkungen [2][4]. Diese Mechanismen erklären, warum die Studien sehr unterschiedliche Bereiche abdecken. Dazu gehören körperliche Leistungsfähigkeit, Immunabwehr, Entzündungen und der Energiehaushalt. Ein möglicher Mechanismus garantiert jedoch noch keinen nützlichen Effekt beim Menschen. Die orale Aufnahme und die Umwandlung im Körper können das Ergebnis verändern. Auch die Menge, die tatsächlich das Gewebe erreicht, spielt eine entscheidende Rolle. Die aussagekräftigsten Studien verknüpfen daher die Zusammensetzung mit einem messbaren Effekt. Einige bewerten die Ausdauer bei Belastung oder spezifische Werte der Immunabwehr [7]. Präklinische Daten (gewonnen an Zellen oder Tieren) untersuchen AMPK, oxidativen Stress, Autophagie und zelluläre Signalwege [9][10][11][12]. Autophagie ist das System, mit dem die Zelle beschädigte Bestandteile beseitigt. Diese Daten stützen eine Hypothese, befinden sich jedoch noch in

einem frühen Stadium. Es bedarf Studien am Menschen mit klar definierten Produkten und bekannten Dosierungen, um einen klinischen Nutzen zu bestätigen.

3. MÖGLICHE VORTEILE VON CORDYCEPS IN DER PRAXIS

Um die möglichen Vorteile von Cordyceps zu verstehen, muss man Labordaten von Ergebnissen am Menschen unterscheiden. Die Studien untersuchen vor allem das wahrgenommene Energielevel, die Belastungsreaktion und bestimmte Indikatoren der Immunkfunktion. Die Ergebnisse variieren je nach Produkt, Dosierung und den beteiligten Personen [13,14]. Ein Nutzen ist daher nie garantiert. In einigen Fällen scheint der Pilz nützlich zu sein, während er in anderen die gemessenen Ergebnisse nicht verändert. Seine Inhaltsstoffe wirken auf verschiedene Signalwege, die mit Energie, Entzündungen und oxidativem Stress (Schäden durch reaktive Moleküle) verbunden sind [3,2,4,5]. Um die Wirkungen zu bewerten, müssen sowohl die positiven Daten als auch die Grenzen klinischer Studien berücksichtigt werden. Müdigkeit hat nicht immer dieselbe Ursache. Sie kann von Energiemangel, leichten Entzündungen, oxidativem Stress oder einer schlechten Erholung nach körperlicher Anstrengung herrühren. Oxidativer Stress entsteht, wenn reaktive Moleküle die natürlichen Abwehrmechanismen überfordern. Diese Moleküle können dann Zellen und Gewebe schädigen. Cordyceps wird erforscht, weil er möglicherweise auf mehrere Prozesse gleichzeitig einwirken kann. Zu seinen Inhaltsstoffen gehören Cordycepin, Adenosin, Polysaccharide und andere Metaboliten (von Zellen produzierte Substanzen) [3,2,4,8]. Diese Substanzen könnten helfen, die Belastung zu bewältigen und die Immunantwort zu regulieren. Die beim Menschen beobachteten Wirkungen sind jedoch nicht immer gleich. Eine Aktivität in vitro (im Labor) reicht nicht aus: Es muss überprüft werden, ob sie zu realen und messbaren Vorteilen führt. Insgesamt zeigen die Daten eine mögliche Unterstützung, aber keinen Effekt, der bei jedem gleich ist. Eine Studie umfasste 20 Probanden im Alter von 50 bis 75 Jahren. Cs-4 (eine standardisierte und im Labor kultivierte Form des Heilpilzes Cordyceps sinensis) in einer Dosierung von 333 mg dreimal täglich über 12 Wochen verbesserte die



metabolische und die ventilatorische Schwelle. Der maximale Sauerstoffverbrauch veränderte sich hingegen nicht [15]. In einer anderen Studie nahmen 22 männliche Radfahrer 5 Wochen lang täglich 3 g ein. Es zeigten sich keine Vorteile bei der VO₂peak, der ventilatorischen Schwelle oder der Zeitfahrleistung [16]. Auch die Immunmarker zeigen unterschiedliche Reaktionen. Eine Dosis von 1,68 g pro Tag über 8 Wochen erhöhte die Aktivität der natürlichen Killerzellen bei 79 Erwachsenen. Ein Getränk mit 2,85 mg Cordycepin wurde hingegen über 8 Wochen getestet. Die Studie umfasste 10 Probanden pro Geschlecht und Gruppe [7]. Cordyceps bleibt daher ein Unterstützungsmittel, das mit Vorsicht zu bewerten ist, und keine Lösung, die für jeden geeignet ist [17,18]. Es ist wichtig zu prüfen, ob der Mechanismus auch ein konkretes Ergebnis liefert. Ein Extrakt, der AMPK aktiviert, kann die Energienutzung in den Zellen fördern. AMPK ist die

Adenosinmonophosphat-aktivierte Proteinkinase, ein Enzym, das den Energiestoffwechsel reguliert [9,10]. Eine Wirkung auf Entzündungssignale oder oxidativen Stress kann die Erholung und die Reaktion auf Reize beeinflussen [19,11,20]. Diese Mechanismen garantieren jedoch nicht bei jedem Menschen einen spürbaren Nutzen. Die Unterstützung scheint oft bescheiden zu sein und könnte bei funktioneller Erschöpfung oder intensiver Belastung plausibler sein. Er sollte daher nicht als allgemeines Heilmittel betrachtet werden. Bevor man praktische Schlussfolgerungen zieht, ist es nützlich, sich einige Punkte vor Augen zu halten, die in klinischen Studien häufig vorkommen:

- Sich weniger müde zu fühlen, bedeutet nicht immer, eine bessere körperliche Leistung zu erbringen.
- Die Reaktion auf die Ausdauerleistung unterscheidet sich stark zwischen trainierten und untrainierten Personen.
- Einige Immunindikatoren scheinen stärker auf die Extrakte zu reagieren als andere.
- Die Dosis und die Dauer der Anwendung können das Ergebnis stark verändern.

Die möglichen Vorteile von Cordyceps lassen sich am besten verstehen, wenn man drei Bereiche unterscheidet: wahrgenommene Energie, Reaktion auf körperliche Belastung und Immunregulation. Für jeden Bereich sind die Dosierung, die Dauer der

Einnahme und die Art des verwendeten Extrakts entscheidend.

3.1 Wahrgenommene Energie und Müdigkeit

Viele Menschen kaufen Cordyceps in der Hoffnung, sich weniger müde und aktiver zu fühlen. Dieser mögliche Effekt ist nicht nur ein subjektives Empfinden. Er hängt auch damit zusammen, wie Zellen ATP produzieren. ATP, oder Adenosintriphosphat, liefert Energie für zelluläre Prozesse. Einige Studien deuten auf mögliche Auswirkungen auf die Signalwege hin, die den Energiehaushalt und die Reaktion auf Belastung regulieren [13][21]. Cordycepin kann auf Signale einwirken, die den Energiehaushalt, die Autophagie und das Zellleben steuern [9][12]. Autophagie ist das System, mit dem die Zelle beschädigte Bestandteile beseitigt oder recycelt. Es gibt also eine biologische Grundlage, um die Auswirkungen auf die Energie zu untersuchen. Die Ergebnisse sind jedoch nicht bei jedem gleich. Einige Gruppen zeigen kleine Vorteile, während die Unterschiede bei anderen im Vergleich zur Kontrollgruppe minimal sind. Der Effekt kann je nach Extrakt, Training, Ernährung und den Erwartungen der Person variieren. Daher ist das Produkt kein „Treibstoff“, der für jeden geeignet ist. Es kann in spezifischen Fällen eine Hilfe sein, muss aber jedes Mal individuell bewertet werden. Die Belege deuten auf eine mögliche Unterstützung hin, nicht auf die sichere Korrektur eines Energieproblems [3][13]. Viele Studien an Zellen und Tieren haben Auswirkungen auf oxidativen Stress und die Energienutzung festgestellt. Sie zeigten jedoch keinen direkten Anstieg der Kraft. Diese Erkenntnis könnte erklären, warum manche Menschen von mehr Wachheit berichten, ohne dass sich ihre sportlichen Leistungen wesentlich verbessern. Der Nutzen könnte sich zeigen, wenn die Müdigkeit auf eine schlechte Erholung oder eine ungünstige Energiebilanz zurückzuführen ist. Unter anderen Bedingungen kann das Ergebnis nahezu dem der Kontrollgruppe entsprechen. Es sind daher solidere klinische Daten erforderlich, um zu verstehen, wer einen tatsächlichen Vorteil erzielen kann.



3.2 Körperliche Ausdauer und Erholung

Im Sport wird Cordyceps eingesetzt, um die Ausdauer bei Belastung zu unterstützen und die Erholung zu fördern. Eine randomisierte Studie untersuchte Cs-4 an 20 gesunden Probanden im Alter von 50 bis 75 Jahren. Die Dosis betrug 333 mg dreimal täglich über einen Zeitraum von 12 Wochen. Die metabolische Schwelle stieg um 10,5 % und die ventilatorische Schwelle um 8,5 %. Der maximale Sauerstoffverbrauch veränderte sich hingegen nicht [15]. Eine weitere Studie umfasste 22 männliche Radsportler, die mit CordyMax Cs-4 behandelt wurden. Die Probanden nahmen 5 Wochen lang täglich 3 g ein. Es zeigten sich keine Verbesserungen der aeroben Kapazität oder der Ausdauerleistung [16]. Die Ergebnisse zeigen positive Anzeichen bei einigen Werten, jedoch keine konsistente Leistungssteigerung. Es muss zwischen physiologischen Schwellenwerten, wahrgenommener Anstrengung und tatsächlicher sportlicher Leistung unterschieden werden. Der Extrakt kann als Unterstützung untersucht werden, ersetzt jedoch nicht ein angemessenes Training, eine ausgewogene Ernährung und eine ausreichende Erholung. Ein möglicher Nutzen kann von der Art, der Dosierung und den untersuchten Personen abhängen [13][14] [16]. Die Physiologie der Belastung hilft dabei, diese Daten besser zu interpretieren. Eine höhere Schwelle kann dazu führen, dass eine moderate Belastung länger durchgehalten werden kann, bevor Ermüdung eintritt. Diese Veränderung führt jedoch nicht zwangsläufig zu einer besseren Maximalleistung. Die Ergebnisse deuten daher auf mögliche Effekte bei der Energienutzung hin, nicht auf einen Beweis für eine sportliche Leistungssteigerung. Zudem haben bereits sehr gut trainierte Personen oft weniger Spielraum für zusätzliche Vorteile. Dieser Faktor kann einen Teil der Unterschiede zwischen den Studien erklären. Auch die unterschiedlichen Dosierungen und Studiendauern spielen eine Rolle.

3.3 Immununterstützung und oxidativer Stress

Cordyceps wurde auch auf seine Auswirkungen auf das Immunsystem und oxidativen Stress hin untersucht. Das Immunsystem umfasst Zellen und Signalwege, die den Körper verteidigen. Oxidativer

Stress hingegen entsteht durch ein Übermaß an reaktiven Molekülen, die Zellen und Gewebe schädigen können [8][22]. Eine randomisierte klinische Studie umfasste 79 gesunde Erwachsene. Davon nahmen 39 Personen über 8 Wochen täglich 1,68 g eines Myzelextrakts aus Cordyceps ein. Die anderen 40 erhielten eine Vergleichsbehandlung. In der behandelten Gruppe stieg die zytotoxische Aktivität der natürlichen Killerzellen um 38,8 % an. Diese Zellen erkennen und bekämpfen bestimmte abnormale oder infizierte Zellen [23]. Eine neuere Untersuchung verwendete ein Cordyceps militaris-Getränk mit 2,85 mg Cordycepin. Das Getränk wurde gesunden Männern und Frauen über 8 Wochen verabreicht. Die Gruppen bestanden aus jeweils 10 Personen pro Geschlecht und dienten der Bewertung der Immunantwort. Die Daten deuten auf eine mögliche gezielte Wirkung hin, nicht auf eine allgemeine Stärkung der Abwehrkräfte. Viele Studien beschränken sich zudem auf Zellen, Tiere, Extrakte oder Polysaccharide [8][22] [24]. Die klinische Wirkung kann daher je nach Produkt und Anwendungskontext variieren. Diese Wirkung könnte nützlich sein, wenn das Immunsystem unter Druck steht, aber nicht aufgrund einer Krankheit überaktiv ist. Es geht also nicht darum, alle Abwehrkräfte gleichermaßen zu „stärken“. Der Extrakt könnte nur auf bestimmte Bereiche der Immunüberwachung und der Stressreaktion wirken. Es bleibt entscheidend, die im Labor beobachteten Effekte von denen zu unterscheiden, die im Alltag von Nutzen sind. Der Anstieg eines Immunmarkers (ein Wert, der eine biologische Reaktion anzeigt) beweist für sich genommen noch keinen verbesserten Schutz. Er belegt auch nicht, dass die Betroffenen weniger Infektionen haben werden.

4. DIE AM BESTEN UNTERSUCHTEN BIOLOGISCHEN MECHANISMEN

Um die Mechanismen von Cordyceps zu verstehen, muss man den Signalen folgen, die das Leben der Zellen regulieren. Cordycepin kann den Energieverbrauch, das Wachstum und die Reaktion auf Schäden beeinflussen [2][4] [8]. Zu diesen Schäden zählen oxidativer Stress und Entzündungen. Oxidativer Stress entsteht, wenn reaktive Moleküle die antioxidativen Abwehrmechanismen übersteigen. Entzündungen sind eine nützliche Abwehrreaktion,



können aber bei zu langer Dauer Schäden verursachen. Die Verbindung scheint daher nicht als allgemeines Stimulans zu wirken. Stattdessen kann sie die Zelle zu einem vorsichtigeren Umgang mit ihren Ressourcen anleiten. Dies erklärt, warum sie in vielen Bereichen untersucht wird, von den Muskeln bis zum Nervensystem. Ein Großteil der Daten stammt jedoch nicht aus klinischen Studien am Menschen. In Geweben, die viel Energie verbrauchen, könnte diese Kontrolle den Zellen helfen, auf Schäden zu reagieren. Die Wirkung hängt jedoch von den Dosierungen ab, die die Produkte tatsächlich liefern können. Eine experimentelle Studie hat gezeigt, dass Cordycepin AMPK, einen Sensor für Zellenergie, aktivieren kann [9]. Der Name steht für AMP-aktivierte Proteinkinase. Dieses Signal wird aktiviert, wenn die Zelle einen Mangel an verfügbarer Energie feststellt. AMPK hilft dabei, Ressourcen besser zu nutzen und Prozesse zu begrenzen, die viel Energie verbrauchen. Es kann auch mTOR bremsen, einen Signalweg, der Wachstum und Synthese unterstützt. Gleichzeitig fördert es die Autophagie (das Recycling beschädigter Zellbestandteile). In verschiedenen Modellen reduziert dieser Zustand den Stress und erhöht die Widerstandsfähigkeit gegenüber widrigen Bedingungen [25][26] [19][10]. In der Praxis fördert AMPK das Sparen, während mTOR Wachstum und Aufbau unterstützt. Ein richtiges Gleichgewicht kann Schäden begrenzen und die Erholung der Zelle unterstützen. Eine im Labor beobachtete Wirkung ist jedoch nicht immer auf den Menschen übertragbar. Entscheidend sind hierbei die Dosis, die Bioverfügbarkeit (der aufgenommene und verwertete Anteil) sowie der Gesundheitszustand. Einige Studien zu *Cordyceps militaris* haben auch menschliche Reaktionen nach kurzzeitiger Einnahme bewertet. Die Einnahme von 4 g pro Tag über 1 Woche umfasste 28 Personen. Bei 10 von ihnen wurde die Untersuchung für weitere 2 Wochen fortgesetzt [6]. Die Daten belegen zwar keinen einzelnen Mechanismus, deuten aber auf eine menschliche Reaktion auf mehreren Signalebenen hin. Um diese Daten systematisch zu betrachten, ist es sinnvoll, die am häufigsten genannten biologischen Schritte zu unterscheiden:

- Die Kontrolle der Zellenergie durch AMPK und ähnliche Signale.
- Das Gleichgewicht zwischen mTOR, Zellwachstum und schützender Autophagie.

- Die Kontrolle von Entzündungen und oxidativem Stress im Gewebe.
- Die Verbindung zu neuronalen Signalwegen und die Fähigkeit der Zellen, am Leben zu bleiben und zu funktionieren.

Die Forschung konzentriert sich auf wenige zelluläre Signalwege, doch die Auswirkungen variieren je nach Gewebe und Modell. Die folgenden Abschnitte erläutern die Rolle von AMPK, mTOR und stressbedingten Signalen.

4.1 Cordycepin, AMPK und Energiestoffwechsel

Cordycepin ist die am besten untersuchte Verbindung hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Energieverbrauch. Eine Studie zu den zellulären Mechanismen deutet darauf hin, dass sie AMPK aktivieren kann, wenn die verfügbare Energie sinkt [5]. AMPK steht für AMP-aktivierte Proteinkinase und fungiert als Sensor für den zellulären Energiestatus. Wenn sie aktiviert wird, hilft sie der Zelle, die verfügbaren Ressourcen besser zu nutzen. Zudem reduziert sie Prozesse, die viel Energie verbrauchen, und fördert einen effizienteren Stoffwechselzustand. Sie wirkt somit wie ein Schalter, der die Zelle auf Einsparung und Anpassung ausrichtet. Einige Studien bringen diesen Effekt auch mit AKT in Verbindung, einem Signalweg, der das Wachstum und die Überlebensfähigkeit von Zellen reguliert. Es wurde zudem eine Verringerung anderer Signale beobachtet, die das Wachstum fördern [9][27]. Es handelt sich also nicht um die typische Wirkung eines Stimulans. Stattdessen kann die Verbindung die Art und Weise verändern, wie die Zelle mit Energie umgeht. Dieser Mechanismus wird im Bereich des Stoffwechsels und zur Unterstützung bei körperlicher Anstrengung untersucht. Eine Studie umfasste 28 Personen, die eine Woche lang täglich 4 g einnahmen. Im Anschluss setzten 10 von ihnen die Einnahme für weitere 2 Wochen fort. Die Forscher stellten eine verbesserte aerobe Kapazität und eine höhere Belastungstoleranz fest. Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max) stieg um 4,8 ml pro kg pro Minute. Die Zeit bis zur Erschöpfung erhöhte sich in der Gruppe mit der höheren Dosis um 28,1 Sekunden bzw. 69,8 Sekunden [6]. Eine weitere randomisierte kontrollierte Studie verwendete hingegen 2,85 mg über 8 Wochen. Die



Studie umfasste 10 Personen beiderlei Geschlechts pro Gruppe und lieferte ein vorsichtigeres Bild. Diese Daten deuten darauf hin, dass die Reaktion je nach Dosis, Form und untersuchter Gruppe variieren kann. Ein Effekt auf zellulärer Ebene bedeutet nämlich nicht immer einen tatsächlichen klinischen Nutzen. Entscheidend sind die Menge, die das Gewebe erreicht, die Art der Einnahme und die Dauer [5][13].

4.2 AMPK, mTOR und Autophagie

mTOR ist ein Signalweg, der Wachstum und Synthese fördert, wenn der Zelle Energie zur Verfügung steht. AMPK hingegen neigt dazu, diesen Prozess zu bremsen, wenn die Ressourcen knapp sind. Studien deuten darauf hin, dass Cordycepin durch die Aktivierung von AMPK mTORC1 regulieren kann [28][29]. mTORC1 ist der mTOR-Komplex, der Wachstum und Biosynthese (die Produktion neuer Moleküle) steuert. Dieses Verhältnis ist von Bedeutung, da mTOR das Wachstum, die Nährstoffverwertung und die Reaktion auf die Umgebung reguliert. AMPK kann auch auf TSC1/TSC2 einwirken, was dazu beiträgt, mTORC1 zu hemmen. TSC1/TSC2 ist eine Gruppe von Proteinen, die das Wachstum an die verfügbare Energie anpasst. In einigen Modellen fördert diese Wirkung die Autophagie (das Recycling beschädigter oder nicht mehr benötigter Zellbestandteile). Auf diese Weise kann die Zelle Energie gewinnen und ihr Inneres geordneter halten [25][12]. Der Mechanismus kann die Zelle somit in eine Phase der Schonung und Abwehr versetzen. Diese Effekte wurden in Modellen von Erkrankungen des Nervensystems und des Stoffwechsels beobachtet. In solchen Modellen kann das Gleichgewicht zwischen AMPK und mTOR die Fähigkeit der Zellen beeinflussen, am Leben zu bleiben und zu funktionieren [25][26]. Geht diese Kontrolle verloren, können Schäden zunehmen und die Effizienz der Energienutzung sinken. Aus diesem Grund wird Cordyceps auch außerhalb des Sportbereichs untersucht. Labordaten reichen jedoch nicht aus, um ihn als Heilmittel zu empfehlen. Entscheidend bleiben die Bioverfügbarkeit (der Anteil, der aufgenommen und verwertet wird), die Dosierung und die klinische Situation. Bei stoffwechselbedingten Schäden oder Ischämie, also einer verminderten Durchblutung, kann die Wirkung schützend sein. Unter anderen Bedingungen könnte

ein zu starker Effekt jedoch nicht hilfreich sein. Das Ziel ist nicht das Ein- oder Ausschalten eines Signalwegs, sondern das Wiederfinden eines ausgewogenen Gleichgewichts.

4.3 Entzündung, oxidativer Stress und Zellfunktion

Zahlreiche Studien zu Cordyceps deuten auf Auswirkungen auf Signalwege hin, die mit Entzündungen und oxidativem Stress in Verbindung stehen [8][22]. Entzündungen unterstützen die körpereigene Abwehr, solange sie nur von kurzer Dauer und gut reguliert sind. Halten sie jedoch über einen längeren Zeitraum an, können sie Gewebe schädigen und dessen Funktionen beeinträchtigen. Oxidativer Stress entsteht, wenn reaktive Moleküle die antioxidativen Abwehrmechanismen überfordern. In experimentellen Modellen konnte Cordycepin bestimmte pro-inflammatorische Signale reduzieren. Zudem wurde es mit dem Schutz von Zellen und der Kontrolle oxidativer Schäden in Verbindung gebracht [4][30] [10]. In Neuronen und Herzzellen zeigten Studien eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegenüber Stress. Zudem wurde eine verbesserte Fähigkeit der Zellen beobachtet, unter widrigen Bedingungen zu überleben [26][11] [20]. Die Verbindung könnte daher die zelluläre Anpassung regulieren, anstatt lediglich eine allgemeine „Stärkung“ zu bewirken. Diese mögliche Rolle erklärt die Untersuchungen zum Stoffwechsel, zum Nervensystem und zur Immunabwehr. Einige Daten am Menschen weisen in dieselbe Richtung, sind jedoch noch begrenzt. Eine Untersuchung an insgesamt 79 Personen bewertete den mizellaren Extrakt von Cordyceps CBG-CS-2. Die Dosis betrug 1,68 g täglich über einen Zeitraum von 8 Wochen. Im Vergleich zum Placebo stieg die Aktivität der NK-Zellen gegen veränderte Zellen um etwa 38,8 % [7]. Natural-Killer-Zellen erkennen und bekämpfen bestimmte veränderte Zellen innerhalb der Immunabwehr. Im Bereich der Atemwege untersuchte eine weitere klinische Studie zu *Hirsutella sinensis* die chronisch obstruktive Lungenerkrankung [18]. Das Interesse gilt also auch der Immunantwort und der allgemeinen Verträglichkeit, nicht nur dem Sport. Es ist jedoch notwendig, experimentelle Effekte vom tatsächlichen Nutzen für den Menschen zu unterscheiden. Es bedarf direkterer und fundierterer klinischer Studien, insbesondere zu den im Handel



erhältlichen Produkten. Diese können sich in ihrer Zusammensetzung nämlich stark unterscheiden [3][5] [4]. Die Mechanismen machen die Wirkungen zwar plausibel, erlauben jedoch keine allgemeingültigen Schlussfolgerungen für jede Anwendung.

5. CORDYCEPS, STOFFWECHSEL UND CHRONISCHE ERKRANKUNGEN

Im Zusammenhang zwischen Cordyceps und Stoffwechsel können bestimmte Moleküle auf die Systeme einwirken, die den Energiehaushalt regulieren. Diese Systeme steuern die Verwertung von Fetten, deren Speicherung sowie die Reaktion auf Stress. Studien zu Cordycepin haben sich vor allem auf dessen Wirkung auf AMPK konzentriert. Dieses Protein erkennt, wie viel Energie der Zelle zur Verfügung steht, und passt deren Aktivitäten entsprechend an. Wenn AMPK aktiviert wird, schränkt die Zelle Aktivitäten ein, die viel Energie verbrauchen. Gleichzeitig fördert sie Prozesse, die nützlich sind, um auf neue stoffwechselbedingte Anforderungen zu reagieren. Das Gleichgewicht verschiebt sich somit hin zu einer geordneteren und effektiveren Nutzung der verfügbaren Ressourcen. Dies bedeutet nicht, dass der Pilz den Cholesterinspiegel senkt oder chronische Krankheiten heilt. In Forschungsmodellen kann er jedoch eine vorteilhaftere Stoffwechsellage begünstigen. Die Leber ist dabei ein wichtiges Zielorgan, da sie Zucker, Fette und viele Entzündungssignale verarbeitet. Studien an verschiedenen Geweben zeigen einige konsistente Daten, die jedoch mit Vorsicht zu interpretieren sind. In der Leber ist die Aktivierung von AMPK mit weniger Fett und weniger Entzündungen verbunden. In der Niere liegt das Interesse auf der Abwehr von oxidativem Stress (Schäden durch hochreaktive Moleküle). Diese Art von Stress begleitet viele Nephropathien (Nierenerkrankungen) und kann die Nierenfunktion beeinträchtigen. Im Herzen beeinflusst die Energienutzung die Reaktion auf Stress, der durch Ischämie verursacht wird. Ischämie ist der Mangel an Blut und Sauerstoff, der ein Gewebe erreicht. Das Herz verbraucht viel Energie und ist daher auf gut koordinierte und effiziente Mitochondrien angewiesen. Mitochondrien sind Zellbestandteile, die einen Großteil der verfügbaren Energie produzieren. In einigen Modellen reguliert dieser Signalweg auch die Mitochondrien und das Zellleben.

Cordyceps könnte daher auf mehrere miteinander verbundene biologische Netzwerke wirken und nicht nur auf ein einziges Ziel. Dieser Effekt muss jedoch durch umfangreiche und gut durchgeführte klinische Studien bestätigt werden. In der Leber untersuchte eine Studie zur nicht-alkoholischen Steatohepatitis die Wirkung von Cordycepin. Das Molekül verbesserte das Entzündungs- und Stoffwechselbild über AMPK [10]. Die Krankheit verursacht eine Ansammlung von Fett und Entzündungen, was im Laufe der Zeit zu Schäden führen kann. Der untersuchte Mechanismus deutet also darauf hin, dass es möglich ist, auf diesen Energiesensor einzuwirken. Wenn die Leberzelle Energie besser erkennt, kann sie die Fettspeicherung begrenzen. Sie kann auch Prozesse reduzieren, die mit oxidativem Stress und Zellschäden verbunden sind. Fermentierte Produkte von *Ophiocordyceps sinensis* wurden bei akutem Nierenschaden durch Kontrastmittel untersucht. Bailing-Kapseln, die mit Cordyceps *sinensis* in Verbindung stehen, wurden bei chronischer Nierenerkrankung bewertet [13,23]. Im diabetischen Herzen reduzierte Cordycepin den durch Ischämie/Reperfusion verursachten Schaden. Es förderte die durch AMPK und Mfn2 regulierte mitochondriale Fusion [20]. Die mitochondriale Fusion verbindet Mitochondrien miteinander und kann ihnen helfen, effektiver zu arbeiten. Insgesamt belegen diese Daten nicht, dass Cordyceps eine Therapie darstellt. Sie weisen jedoch auf drei mögliche gemeinsame Ziele hin: Stoffwechsel, oxidativer Stress und Entzündungen. Der wissenschaftliche Wert liegt in der Erforschung dieser Netzwerke, nicht in einer vermeintlich sensationellen Wirkung. Zusammenfassend lässt sich festhalten: Cordycepin aktiviert AMPK und fördert so ein besseres Energiemanagement. In der Leber kann AMPK Fett und Entzündungen reduzieren. In der Niere könnte Cordyceps oxidativem Stress entgegenwirken. Im Herzen fördert es in experimentellen Modellen die mitochondriale Funktion.

Der Fokus verlagert sich nun von den allgemeinen Auswirkungen auf die Gewebe, bei denen der Energieverbrauch am wichtigsten ist. Leber, Niere und Herz sind drei unterschiedliche Fälle, basieren jedoch auf derselben biologischen Grundlage. Alle müssen sich an den Energiebedarf anpassen und Zellschäden



begrenzen.

5.1 Leber und Lipidstoffwechsel

Ein Forschungszweig untersucht die Leber und die Art und Weise, wie sie Fette verwertet. In einem Modell der nicht-alkoholischen Steatohepatitis aktivierte Cordycepin AMPK. Diese Wirkung verbesserte das Stoffwechselprofil und reduzierte Entzündungszeichen [10]. Die Erkrankung führt zu Fetteinlagerungen in der Leber, Entzündungen und möglichen Schäden, die mit der Zeit fortschreiten. In diesem Stadium muss das Organ eine zu große Menge an Fetten bewältigen. Es verändert die Art und Weise, wie es diese nutzt, und der oxidative Stress nimmt zu. Zudem werden Signale aktiviert, die eine Fibrose (Bildung von Narbengewebe) begünstigen können. Mit der Zeit können diese Vorgänge die Leberfunktion beeinträchtigen. Wenn AMPK aktiviert wird, begrenzt die Zelle Prozesse, die Energie speichern. Gleichzeitig nutzt sie die bereits vorhandenen Ressourcen effizienter. Sie kann somit die Fettsynthese reduzieren und deren Verbrauch steigern. Diese beiden Prozesse regulieren das Gleichgewicht zwischen Speicherung und Verbrauch. Die Studie beweist nicht, dass die Behandlung beim Menschen wirksam ist, zeigt aber einen möglichen Mechanismus auf. Dies trägt dazu bei, das Interesse an Cordyceps in der Leberforschung zu erklären. Der Pilz heilt das Organ nicht auf allgemeine Weise. In experimentellen Modellen wirken jedoch einige seiner Moleküle auf Schlüsselstellen des Stoffwechsels ein. Die Rolle von AMPK macht die Erkenntnis auch für die Untersuchung anderer Organe nützlich. Dieser Signalweg fungiert nämlich als allgemeiner Energiesensor der Zellen [30][10]. Die Datenlage ist noch vorläufig und erlaubt keine Empfehlungen für die Behandlung von Menschen. Dieser Rahmen ist Teil umfassenderer Studien zu Substanzen, die aus Cordyceps gewonnen werden. Diese Substanzen wirken nicht wie ein einzelnes Medikament, das auf ein einziges Ziel ausgerichtet ist. Stattdessen können sie auf mehrere miteinander verknüpfte Prozesse einwirken. Eine Reaktion in der Leber kann daher von einer Verringerung des metabolischen Stresses abhängen. Es ist nicht gesagt, dass es einen direkten Effekt auf einen einzelnen Blutwert gibt. Diese Wirkung auf mehrere Systeme macht das Thema interessant, erfordert jedoch große Vorsicht. Die

Daten aus Forschungsmodellen lassen sich nicht direkt auf den Alltag übertragen.

5.2 Niere und Gewebeschutz

In der Niere wurden bestimmte Produkte auf Cordyceps-Basis untersucht, um das Gewebe zu schützen. Eine Übersichtsarbeit untersuchte fermentierte Produkte, die aus *Ophiocordyceps sinensis* gewonnen wurden. Die Studien bewerteten, wie ein akutes Nierenversagen durch Kontrastmittel verhindert werden kann. Die Arbeit fasste randomisierte Studien mit positiven klinischen und labortechnischen Daten zusammen [13]. Das Signal ist interessant, aber es gibt nur wenige Studien, und diese haben spezifische Produkte bewertet. In diesem Fall entsteht das akute Nierenversagen durch mehrere zusammenwirkende Ereignisse. Dazu gehören Vasokonstriktion (Verengung der Gefäße), oxidativer Stress und die Fragilität der Tubuluszellen. Diese Zellen bilden Teile der Niere, die verschiedene Substanzen filtern und rückresorbieren. Die Tubuluszellen leiden stark unter Veränderungen des Blutflusses und chemischen Schäden. Die Verringerung dieser Belastungen könnte den Schaden daher theoretisch begrenzen. Dieser mögliche Effekt reicht jedoch nicht aus, um eine Standardtherapie zu definieren. Eine weitere Analyse untersuchte Bailing-Kapseln, die mit Cordyceps *sinensis* in Verbindung stehen, bei chronischer Nierenerkrankung. Die Arbeit brachte die möglichen Wirkungen mit Signalnetzwerken und Abwehrmechanismen in Verbindung [23]. Die chronische Nierenerkrankung schreitet langsam voran und kann viele Ursachen haben. Sie umfasst häufig eine anhaltende Entzündung, Gefäßschäden und einen allmählichen Verlust von Nephronen. Nephronen sind die Einheiten der Niere, die das Blut filtern. Die Hypothese betrifft die Kontrolle von oxidativem Stress, Entzündungen und dem Zellenergiehaushalt. Niere und Leber sind komplexe Organe, daher lässt sich ein einzelnes Ergebnis nicht auf jeden Fall übertragen. Diese Produkte könnten als Unterstützung in sehr spezifischen Fällen untersucht werden. Sie können jedoch keine Standardbehandlungen ersetzen. Diese Studien sind wertvoll, da sie die Forschung über den sportlichen Bereich hinaus erweitert haben [13][23]. Insgesamt deuten die Daten auf einen möglichen Zellschutz hin,



nicht auf eine umfassende Wiederherstellung der Funktion. Dieser Unterschied ist wichtig, um die tatsächliche Bedeutung der Ergebnisse zu verstehen. Der Schutz von Gewebe kann ein erster Schritt zu einem klinischen Nutzen sein. Es bedarf jedoch soliderer Studien, klar definierter Dosierungen und vergleichbarer Patientengruppen. Ohne diese Voraussetzungen bleiben die Daten vorläufig und erlauben keine sicheren Schlussfolgerungen.

5.3 Herz, Energie und Stressanpassung

Das Herz verbraucht viel Energie und ist daher auf AMPK sowie die einwandfreie Funktion der Mitochondrien angewiesen. In einem Modell eines diabetischen Herzens mit Ischämie/Reperfusion konnte Cordycepin den Schaden verringern. Es steigerte die durch AMPK und Mfn2 regulierte mitochondriale Fusion [20]. Bei der mitochondrialen Fusion verschmelzen Mitochondrien, also die Energiekraftwerke der Zelle. Dieser Prozess kann dazu beitragen, ihre Leistungsfähigkeit besser aufrechtzuerhalten. Während einer Ischämie erhält das Herz weniger Blut und Sauerstoff. Bei der Reperfusion setzt der Blutfluss wieder ein, was jedoch weiteren Schaden verursachen kann. Das Gewebe erleidet dadurch ein abruptes Ungleichgewicht zwischen Sauerstoffversorgung, Energiebedarf und freien Radikalen. Diese hochreaktiven Moleküle können die Zellen schädigen. Besser organisierte Mitochondrien können den Schaden begrenzen und das Überleben der Zellen unterstützen. Diese Daten verknüpfen Cordyceps mit der Herz-Kreislauf-Forschung. Eine effizientere Energienutzung könnte tatsächlich den Schaden bei akutem Stress reduzieren. Dieser Effekt wurde jedoch in einem Studienmodell beobachtet und stellt noch keine etablierte Behandlung dar. Eine weitere Arbeit untersuchte die mögliche Wirkung des Pilzes auf Herzrhythmusstörungen. Herzrhythmusstörungen sind anormale Veränderungen des Herzschlags. Die Forschung bewertete auch die biologischen Signale, die mit diesen Veränderungen zusammenhängen [24]. Diese Daten zeigen ein Interesse an der elektrischen Aktivität des Herzens, befinden sich jedoch noch in einem frühen Stadium. Das Ergebnis steht im Einklang mit dem vorgeschlagenen Mechanismus. Das Molekül scheint auf Systeme einzuwirken, die Energie, Stress und das Überleben der Zellen

regulieren. Im Herzen ist diese Kontrolle von großer Bedeutung, da der Energiebedarf stets hoch bleibt. Daher sind weitere Studien am Menschen erforderlich, um die mögliche klinische Rolle zu klären [30][20]. Insgesamt ergibt sich eine schlüssige Hypothese: Dieser Stoff kann Zellen dabei helfen, ihren Stoffwechsel anzupassen. Er würde somit nicht als einfaches Stärkungsmittel wirken. Dies erklärt das Interesse an verschiedenen Krankheiten, die mit energetischen Ungleichgewichten, oxidativem Stress und dem Verlust der Homöostase (inneres Gleichgewicht) einhergehen.

6. CORDYCEPS UND KÖRPERLICHE LEISTUNGSFÄHIGKEIT

Im Hinblick auf die körperliche Leistungsfähigkeit wurde Cordyceps in intensiven oder lang andauernden Belastungstests untersucht. Die Forscher bewerteten dabei die Ausdauer, die wahrgenommene Anstrengung und die Fähigkeit, Belastungen standzuhalten. Die Ausdauer gibt an, wie lange eine Person eine Aktivität ausführen kann. Die wahrgenommene Anstrengung beschreibt hingegen, wie schwer das Training von der ausübenden Person empfunden wird. Das Interesse gilt vor allem dem Cordycepin und anderen Nukleosiden (Moleküle, die auch in Nukleinsäuren vorkommen). Diese Substanzen könnten den Energiehaushalt, die Sauerstoffverwertung und den oxidativen Stress beeinflussen. Letzterer entsteht, wenn freie Radikale die körpereigenen Abwehrmechanismen übersteigen. Die Hypothese lautet, dass die Zellen ihre Ressourcen besser nutzen und länger durchhalten können. Eine Rolle könnte dabei AMPK (ein Protein, das den Energiestoffwechsel in der Zelle reguliert) spielen, doch dies beweist noch keinen gesicherten Effekt im Sport [5,9]. Die Physiologie der körperlichen Belastung umfasst jedoch viele verschiedene Faktoren. Die Leistung hängt von Herz, Lunge, Durchblutung, Muskeln und der Bewegungskontrolle ab. Auch die individuelle Wahrnehmung der Anstrengung spielt eine Rolle. Daher kann ein Nahrungsergänzungsmittel einen einzelnen Wert verändern, ohne das Endergebnis zu verbessern. Studien haben metabolische und ventilatorische Schwellenwerte gemessen (Niveaus, ab denen die Anstrengung schwerer fällt). Andere untersuchten die maximale Sauerstoffaufnahme, also den Spitzenwert während



der Belastung. Einige Tests erfassten die Zeit bis zur Erschöpfung oder die Erholung nach der Anstrengung. Insgesamt sind die Daten plausibel, aber wenig einheitlich. In einigen Fällen zeigt sich ein nützlicher Effekt, während er in anderen ausbleibt oder zu schwach ist [14,16]. Um die Ergebnisse zu verstehen, muss man zwischen den verschiedenen Testarten unterscheiden. Die Schwellenwerte zeigen, wie der Körper mit der Belastung umgeht, bevor er an seine Grenzen stößt. Die Ausdauerzeit und die maximale Sauerstoffaufnahme sind näher an der tatsächlichen Leistung. Zell- und Tiermodelle hingegen helfen dabei, die zugrunde liegenden Mechanismen zu erforschen. Ein im Labor beobachteter Effekt tritt nicht zwangsläufig auch beim Menschen auf. Zudem können die Art des Produkts, die Dosierung und die Dauer der Anwendung das Ergebnis beeinflussen. Auch der Trainingszustand kann einen erheblichen Einfluss auf das Resultat haben. Diese Unterschiede erklären, warum die Studien keine eindeutige Antwort liefern [6,30]. In der bereits beschriebenen Studie [15] zeigten einige gesunde Erwachsene höhere Schwellenwerte. In der Studie mit *Cordyceps militaris* stieg die maximale Sauerstoffaufnahme nach 3 Wochen um 4,8 ml·kg⁻¹·min⁻¹ an. Bei den härteren Tests erhöhte sich auch die Zeit bis zur Erschöpfung [6]. Diese Daten deuten auf eine mögliche höhere Belastungstoleranz hin. Andere Arbeiten konnten jedoch keinen klaren Vorteil für die Gesamtleistung feststellen [16]. Der Pilz kann daher in sehr spezifischen Fällen eine Unterstützung bieten. Die derzeitige Studienlage erlaubt es nicht, ihn als wirksam für alle Sportler zu bezeichnen. Der Effekt scheint, sofern vorhanden, bescheiden zu sein und hängt von der Art der Anwendung ab. Eine abschließende und kontextübergreifende Bestätigung steht noch aus [14]. Zusammenfassend lässt sich festhalten: Cordyceps könnte die körperliche Ausdauer und die Belastungstoleranz verbessern. AMPK könnte eine effizientere Nutzung der Muskelenergie fördern. Einige Studien zeigen Verbesserungen bei der maximalen Sauerstoffaufnahme. Die Vorteile variieren je nach Trainingszustand, Dosierung und Dauer der Einnahme.

Studien zur Leistungsfähigkeit liefern keine eindeutige Antwort, da sie unterschiedliche Ergebnisse messen. Einige Werte verbessern sich,

während andere gleich bleiben. Es ist daher sinnvoll, nützliche Signale von neutralen Daten zu trennen und anschließend die möglichen energetischen Mechanismen zu bewerten.

6.1 Positive Studien zu Schwellenwerten und Belastungstoleranz

Einige Studien deuten darauf hin, dass Cordyceps dabei helfen kann, Belastungen besser zu tolerieren, ohne die Gesamtleistung zu verändern. In der bereits beschriebenen Studie [15] stieg die metabolische Schwelle bei gesunden älteren Menschen um 10,5 %. Die ventilatorische Schwelle erhöhte sich um 8,5 %, während der maximale Sauerstoffverbrauch stabil blieb. Der Körper scheint also besser mit der Belastung umzugehen, bevor er an seine Grenzen stößt. Dies deutet jedoch nicht auf eine Steigerung der absoluten Maximalkapazität hin. Eine weitere Studie untersuchte eine Mischung mit *Cordyceps militaris* an 28 gesunden Probanden. Die Teilnehmer nahmen eine Woche lang täglich 4 g ein. Davon setzten 10 Personen die Einnahme für weitere 2 Wochen fort. Nach 3 Wochen stieg der maximale Sauerstoffverbrauch um 4,8 ml·kg⁻¹·min⁻¹. Bei intensiveren Tests verbesserte sich zudem die Zeit bis zur Erschöpfung [6]. Eine randomisierte kontrollierte Studie untersuchte ein Getränk mit 2,85 mg Cordycepin über einen Zeitraum von 8 Wochen. Bei dieser Art von Studie werden die Teilnehmer per Zufallsprinzip auf die verschiedenen Gruppen verteilt. Die Untersuchung umfasste 10 Probanden pro Geschlecht und Gruppe. Der Wirkstoff beeinflusst Signalwege, die mit der Energiebereitstellung und der zellulären Regeneration zusammenhängen. Der festgestellte Vorteil war jedoch gering und hing von den Testbedingungen ab [3][2] [4]. Insgesamt lässt sich ein positiver Effekt feststellen, der jedoch je nach verwendetem Produkt variiert. In den am besten geeigneten Tests zeigt sich vor allem eine höhere Fähigkeit, Belastungen standzuhalten. Ein deutlicher Leistungssprung im Sport ist hingegen nicht zu beobachten. Der Pilz bleibt somit eine mögliche Unterstützung, jedoch kein gesichertes Ergogenikum (leistungssteigernde Substanz).



6.2 Neutrale oder negative Studien zur Leistungsfähigkeit

Die Fachliteratur liefert keine vollkommen konsistenten Ergebnisse. Eine Studie untersuchte 22 männliche Radsportler und bewertete CordyMax Cs-4. Die Dosis betrug 3 g täglich über einen Zeitraum von 5 Wochen. Das Produkt veränderte weder die maximale Sauerstoffaufnahme noch die ventilatorische Schwelle. Auch die Zeit bei der Ausdauerprüfung (Langzeitbelastung) veränderte sich nicht [16]. Dieses Ergebnis zeigt, dass ein möglicher biologischer Effekt nicht immer die Leistung verbessert. Auch der Test mit dem Getränk dauerte 8 Wochen und verwendete 2,85 mg Cordycepin. Der Test war gut kontrolliert, lieferte jedoch ein vorsichtiges Bild. Er allein beweist nämlich keinen weitreichenden und leicht reproduzierbaren sportlichen Vorteil. Die Unterschiede zwischen den Studien können vom Typ des Extrakts und der Dosierung abhängen. Auch der Trainingszustand und der gewählte Messwert für das Ergebnis spielen eine Rolle. Aus diesem Grund kann Cordyceps nicht als allgemeingültiges Mittel für jeden Athleten empfohlen werden. Dieselbe Variabilität zeigt sich auch in Studien zu Nahrungsergänzungsmitteln, die häufig unterschiedliche Produkte und Quellen verwenden [1][17] [13][14]. Heute kann seine Rolle als eine Unterstützung betrachtet werden, die von Fall zu Fall bewertet werden muss. Ein realistisches Ziel wäre ein kleiner Nutzen, der mit den körpereigenen Prozessen im Einklang steht. Die Belege deuten hingegen nicht auf eine deutliche Steigerung der sportlichen Leistungsfähigkeit hin. Es werden daher solidere Daten benötigt, die in verschiedenen Gruppen leicht reproduzierbar sind.

6.3 Vom Zellstoffwechsel zur Leistungsfähigkeit

Der Zusammenhang zwischen Cordyceps und Leistungsfähigkeit betrifft auch die von den Zellen produzierte Energie. Eine Studie an Mäusen verwendete einen Ethylacetat-Extrakt aus Cordyceps militaris. Die Dosierungen betrugen 50, 150 und 300 mg/kg über einen Zeitraum von 12 Wochen. Die Forscher beobachteten lediglich einen leichten Anstieg der Griffkraft [30]. Auch einige Biomarker (Werte, die auf eine Aktivität im Körper hinweisen)

veränderten sich. Diese Werte standen im Zusammenhang mit dem Stoffwechselweg, der ATP produziert, die wichtigste Energiequelle der Zellen. Der Pilz kann also die Energienutzung beeinflussen, auch wenn der praktische Nutzen gering bleibt. In diesem Fall ist das Signal in den Zellen deutlicher als die Auswirkung auf die Kraft. AMPK hilft dabei, diesen Vorgang zu erklären, da es reguliert, wie die Zelle ihre Ressourcen nutzt. Eine effizientere Energienutzung könnte in manchen Fällen die körperliche Anstrengung besser unterstützen [5][9]. Cordycepin wirkt zudem auf Signalwege, die mit Entzündungen, oxidativem Stress und der Zellkommunikation in Verbindung stehen. Diese Prozesse spielen bei intensiver oder lang anhaltender körperlicher Belastung eine Rolle [3][2] [4][28]. Ein bei Mäusen gewonnenes Ergebnis beweist jedoch nicht den gleichen Effekt beim Menschen. Die Studie hilft zwar, den möglichen Mechanismus zu verstehen, garantiert aber keine Vorteile in der Praxis. Die Belege bilden somit eine Reihe kohärenter Hinweise, sind aber noch nicht abschließend. Eine Wirkung auf den Energiehaushalt erscheint möglich, während der tatsächliche Effekt auf die Leistungsfähigkeit von vielen Faktoren abhängt [13][15] [30].

7. CORDYCEPS, IMMUNSYSTEM UND OXIDATIVER STRESS

In Studien zu Immunität und oxidativem Stress erscheint Cordyceps als möglicher Modulator der Abwehrkräfte. Er scheint jedoch nicht als allgemeines Stimulans des Immunsystems zu wirken. Einige Bestandteile können die Immunüberwachung beeinflussen, die anomale Zellen aufspürt und kontrolliert. Sie können auch Systeme unterstützen, die Schäden durch reaktive Moleküle begrenzen. Das Interesse gilt daher der Fähigkeit, bestimmte Signale zu regulieren, die von Zellen genutzt werden. Die verfügbaren Belege haben jedoch nicht alle das gleiche Gewicht. Die klarsten Daten stammen aus kontrollierten Studien und experimentellen Modellen. Ihr Wert für die menschliche Gesundheit erfordert noch große Vorsicht [7][8] [21]. In einer Studie am Menschen erhöhte ein Myzelextrakt aus Cordyceps die zytotoxische Aktivität der Natural-Killer-Zellen. Die Untersuchung umfasste 79 gesunde Erwachsene, die 8 Wochen lang behandelt wurden [7]. Dieser Wert deutet auf eine mögliche Wirkung auf die



zellvermittelte Reaktion hin, die von spezialisierten Immunzellen durchgeführt wird. Auch ein Getränk mit Cordycepin wurde in einer kontrollierten Studie über 8 Wochen bewertet. Das Ergebnis bietet einen weiteren Hinweis auf eine biologische Aktivität, betrifft jedoch nur sehr spezifische Parameter. Es erlaubt daher nicht, Schlussfolgerungen für das gesamte Immunsystem zu ziehen. Im Labor scheinen einige Verbindungen die Schäden durch freie Radikale (sehr reaktive Moleküle) zu reduzieren. Sie können zudem die Abwehrsysteme der Zellen unterstützen. Diese Daten deuten auf Hypothesen hin, die am Menschen überprüft werden müssen, nicht auf endgültige Beweise [8][21]. Oxidativer Stress ist nicht nur ein chemischer Prozess ohne Auswirkungen auf den Körper. Wenn die reaktiven Moleküle überhandnehmen, können sie Membranen, Proteine und DNA schädigen. Diese Schäden können dann Entzündungen begünstigen und die Arbeitsweise der Zellen verändern. Ein antioxidativer oder immunmodulierender Wirkstoff (der in der Lage ist, die Immunabwehr zu regulieren) könnte diese Kette begrenzen. Um nützlich zu sein, müsste er jedoch wirken, ohne neue Ungleichgewichte zu schaffen. Das Immunsystem stark zu aktivieren, bedeutet nicht zwangsläufig, die Gesundheit zu verbessern. Zudem beweist ein im Reagenzglas beobachteter antioxidativer Effekt keinen echten Schutz beim Menschen. Der Pilz wird daher als Modulator komplexer Netzwerke untersucht. Er wird nicht als sofortiges Heilmittel oder Ersatz betrachtet [1][17][8]. Ein weiteres Forschungsfeld betrifft die körperliche Anstrengung und die anschließende Erholung. Intensive Bewegung erhöht den Sauerstoffverbrauch und kann mehr reaktive Moleküle produzieren. Nach der Anstrengung muss der Körper auch Entzündungen und den Energieverbrauch regulieren. Einige Übersichtsarbeiten deuten auf eine mögliche Rolle von Cordyceps während dieser Phase hin. Der Pilz könnte das Ermüdungsempfinden verringern und die Anpassung des Körpers unterstützen [14][21]. Ein biologisches Signal beweist jedoch keinen konstanten Nutzen für alle Menschen. Die Studien verwenden nämlich Gruppen, Dosierungen und Produkte, die nicht immer vergleichbar sind. Insgesamt zeigt der Pilz vielversprechende, aber noch nicht vollständig definierte biologische Aktivitäten. Er scheint über

verschiedene mögliche Mechanismen auf Immunität, Oxidation und Entzündung zu wirken. Die Aussagekraft der Belege unterscheidet sich jedoch stark zwischen Labor- und klinischen Studien. Das wissenschaftliche Interesse ist daher begründet, erlaubt aber keine überzogenen

Schlussfolgerungen. Heute ist es korrekter, von Cordyceps als einem möglichen Modulator zu sprechen. Die Daten helfen vor allem zu verstehen, wie einige natürliche Metaboliten wirken. Diese von Lebewesen produzierten Moleküle können die Signale der Zellen beeinflussen [7][8][21]. Um die Daten besser zu verstehen, ist es sinnvoll, die wichtigsten von der Forschung untersuchten Themen zu unterscheiden:

- die Reaktion der Natural-Killer-Zellen (Immunzellen, die infizierte oder anomale Zellen angreifen) und die Immunüberwachung;
- die Wirkung von Polysacchariden (langen Zuckerketten) auf die Zellen der angeborenen Immunität, der ersten Verteidigungslinie des Körpers;
- das Verhältnis zwischen Cordycepin, oxidativem Stress und der zellulären Anpassung;
- der mögliche Zusammenhang mit Entzündungen und der Erholung nach körperlicher Anstrengung;
- der Unterschied zwischen einer biologischen Wirkung und einem gesicherten gesundheitlichen Nutzen.

Die verfügbaren Nachweise unterteilen sich in drei Ebenen: klinische Studien, Analysen der Inhaltsstoffe und Modelle zum zellulären Stress. Die folgenden drei Punkte beschreiben diese Ebenen und die beobachteten Ergebnisse.

7.1 Immunzellen und zellvermittelte Antwort

Der konkreteste Teil der Studien betrifft die zellvermittelte Immunantwort. Dies ist der Teil der Immunität, der auf Zellen beruht, die infizierte oder anomale Zellen erkennen und kontrollieren. Eine randomisierte, doppelblinde klinische Studie umfasste 79 gesunde Erwachsene. Die Behandlungsgruppe erhielt einen Myzelextrakt aus *Paecilomyces hepiali* (Cordyceps). Die Dosis betrug 1,68 g pro Tag über einen Zeitraum von 8 Wochen. Am Ende zeigte die Gruppe eine erhöhte zytotoxische Aktivität der



natürlichen Killerzellen [7]. Das Ergebnis deutet auf einen Effekt bei der Immunüberwachung hin. Natürliche Killerzellen bieten tatsächlich eine schnelle Verteidigung gegen veränderte oder unter Stress stehende Zellen. Eine weitere Studie untersuchte ein Getränk auf Basis von Cordyceps militaris. Das Getränk enthielt 2,85 mg Cordycepin und wurde über 8 Wochen eingenommen. Die Studie umfasste gesunde Männer und Frauen und bewertete gezielte Parameter. Die Ergebnisse bestätigen das Interesse an einer möglichen Regulierung der Abwehrkräfte. Auf physiologischer Ebene ist dieser Punkt wichtig: Cordyceps scheint auf präzise Immunschaltkreise einzuwirken. Diese Schaltkreise gehören zur angeborenen Immunität, der ersten Verteidigungslinie des Körpers. Es zeigt sich hingegen keine generelle „Stärkung“ des Organismus. Dies unterscheidet die biologische Regulierung von einer starken Wirkung ohne präzise Zielvorgaben. Die verfügbaren Daten zeigen keinen Effekt dieser Art. Dennoch ist Vorsicht geboten, da die Stichproben, die Dauer und die untersuchten Produkte noch begrenzt sind. Die klinische Bedeutung darf nicht über das hinausgehen, was die Studien tatsächlich belegen [7]. Der beobachtete Effekt impliziert nicht zwangsläufig eine umfassende und unkontrollierte Zunahme von Entzündungen. Er deutet vielmehr auf eine mögliche Regulierung der Reaktionsfähigkeit des Immunsystems hin. Theoretisch könnte dieser Effekt dem Körper helfen, schnell und effektiv zu reagieren. Eine im Labor gemessene Veränderung entspricht jedoch nicht unbedingt einem spürbaren Nutzen. Es bedarf Bestätigungen in größeren Gruppen, mit unterschiedlichem Alter und klar definierten klinischen Bildern. Daher bleibt die solideste Erkenntnis vorerst biologischer und nicht therapeutischer Natur [7][14].

7.2 Polysaccharide und antioxidative Aktivität

Die Polysaccharide aus Cordyceps werden intensiv erforscht, da sie verschiedene biologische Funktionen erfüllen können. Übersichtsarbeiten beschreiben antioxidative, entzündungshemmende und immunmodulierende Wirkungen (die Fähigkeit, die Immunabwehr zu regulieren). Die chemische Struktur kann beeinflussen, wie diese Moleküle im Körper wirken [8][22]. Eine experimentelle Studie untersuchte

Polysaccharide, die aus einer Submerskultur von Cordyceps sinensis gewonnen wurden. Diese Verbindungen steigerten die Synthese von Zytokinen, die Expression von CD11b und die Phagozytose [27]. Zytokine sind Signalstoffe, die es Immunzellen ermöglichen, miteinander zu kommunizieren. Die Phagozytose hingegen ermöglicht es bestimmten Zellen, Fremdmaterial aufzunehmen. Diese Daten deuten auf eine mögliche Rolle der Polysaccharide bei der Signalübertragung des Immunsystems hin. Bei oxidativem Stress aktivieren Zellen zudem verschiedene Abwehrsysteme. Ein antioxidativer Wirkstoff kann Zellschäden reduzieren und eine geordnetere Reaktion fördern. Ein an Zellen beobachtetes Ergebnis garantiert jedoch nicht denselben Effekt bei einem Menschen. Die tatsächliche Rolle dieser langen Zuckerketten hängt von der Dosis und dem jeweiligen Produkt ab. Antioxidative und immunmodulierende Wirkungen sind zwar möglich, belegen jedoch für sich genommen noch keinen klinischen Nutzen. Das Gesamtbild zeigt daher interessante biologische Signale, die weitere Bestätigungen am Menschen erfordern [8][22] [27]. Diese Aktivitäten sind Teil eines umfassenderen und sehr komplexen biologischen Netzwerks. Die Zellen der angeborenen Immunantwort reagieren auf Gefahren, doch entscheidend ist auch, wie sie die Reaktion regulieren. Antioxidative Abwehrmechanismen können reaktive Moleküle reduzieren und dazu beitragen, dass Gewebe besser funktionieren. Die Forschung untersucht genau dieses Gleichgewicht zwischen Immunantwort und Schadenskontrolle [1][17] [8][27].

7.3 Entzündung, Zellwachstum und Kontrollsignale

Aktuelle Studien beschreiben Cordyceps und Cordycepin als potenzielle Regulatoren verschiedener Signalwege. Diese Signale betreffen Entzündungsprozesse, Zellwachstum und die Anpassung an Zellschäden [4][30]. mTOR und AMPK sind Signalwege, die Zellen dabei unterstützen, Energie und Ressourcen zu verwalten. Sie regulieren nicht nur den Stoffwechsel, also die Art und Weise, wie die Zelle Energie nutzt. Sie beeinflussen auch die Zellteilung, die zelluläre Selbstverwaltung und die Stressreaktion. Wenn Energiesparen und Reparaturprozesse überwiegen, kann die Zelle



energieintensive Prozesse drosseln. Auf diese Weise kann sie einen konservativeren Zustand fördern, der besser für die Stressbewältigung geeignet ist. Diese Logik findet sich in vielen experimentellen Modellen wieder, von der Neuroprotektion bis hin zum Stoffwechsel. Sie taucht auch in Studien zu bestimmten Erkrankungen auf, die mit übermäßigem Zellwachstum einhergehen [25][26] [11]. Die Botschaft für Nicht-Fachleute ist einfach: Cordyceps wirkt nicht nur als „Energieförderer“. Stattdessen könnte er weitaus umfassendere zelluläre Netzwerke regulieren. Dies erklärt, warum Forscher ihn auch in Bereichen untersuchen, die weit vom Sport entfernt sind. Die Einschränkung bleibt jedoch in all diesen Bereichen dieselbe: Die beobachteten Mechanismen sind zwar konsistent, belegen aber für sich genommen noch keinen gesicherten klinischen Nutzen. Die Studien stützen eher die Hypothese einer plausiblen biologischen Regulation. Schwächer sind hingegen die Belege für eine definitive Lösung bei Immunität oder Entzündungen [4][8] [22]. Im Hinblick auf oxidativen Stress stößt Cordycepin in Studien zur zellulären Anpassung auf Interesse. Es erscheint zudem häufig in Arbeiten über den möglichen Schutz vor Zellschäden. Übersichtsarbeiten deuten darauf hin, dass es die Energiebahnen sowie die Widerstands- und Funktionsfähigkeit der Zellen beeinflussen kann. Dazu gehören auch die mit AMPK assoziierten Signalwege [3][5] [9]. Dieses Netzwerk hilft der Zelle, einen Energiemangel zu erkennen und besser darauf zu reagieren. Theoretisch könnte eine solche Konfiguration die Stressresistenz erhöhen und oxidative Schäden begrenzen. Mögliche klinische Effekte müssen jedoch durch gut konzipierte Studien nachgewiesen werden. Der größte Wert dieser Ergebnisse liegt daher vorerst darin, die Mechanismen besser zu verstehen. Cordyceps bietet ein nützliches Modell, um die Beziehung zwischen natürlichen Verbindungen und zellulären Kontrollmechanismen zu untersuchen. Dies macht diese Verbindungen jedoch nicht automatisch zu Therapien [3][5] [9][21]. Der Übergang zum Nervensystem ist naheliegend, da Stress und Anpassung im Gehirn von entscheidender Bedeutung sind. In diesem Organ können übermäßige Oxidation oder eine fehlerhaft regulierte Entzündung weitreichendere Folgen haben. Viele Studien haben daher untersucht, ob Cordycepin empfindliche Gewebe schützen kann. Zudem wurde seine mögliche

Rolle bei der Wiederherstellung von Funktionen erforscht [11][31] [32].

8. CORDYCEPS UND DAS NERVENSYSTEM

Im Zusammenhang zwischen Cordyceps und dem Nervensystem spricht man nicht von einer „Wunderwirkung“. Stattdessen wird untersucht, ob bestimmte Verbindungen den Neuronen helfen, Stress zu widerstehen. Besonders hervorzuheben ist dabei Cordycepin, ein bioaktives Nukleosid, das häufig aufgrund seiner biologischen Wirkungen erforscht wird. Ein Nukleosid ist ein Molekül, das einem natürlichen Bestandteil der Nukleinsäuren ähnelt. In experimentellen Modellen kann Cordycepin auf die Apoptose, also den programmierten Zelltod, einwirken. Es kann zudem Signale beeinflussen, die der Zelle beim Überleben helfen, sowie Signalwege, die Schäden begrenzen. Diese können durch eine zu starke zelluläre Erregung oder metabolischen Stress entstehen. Das Thema ist relevant, da das Nervengewebe viel Energie verbraucht. Zudem verträgt es langanhaltende Ungleichgewichte nur schlecht. Viele neurologische Erkrankungen teilen sich bestimmte Prozesse: oxidativen Stress, Schäden an den Mitochondrien und die Ansammlung veränderter Proteine. Sie können auch die synaptische Kommunikation, also den Signalaustausch zwischen Neuronen, verändern. Die Ergebnisse stammen jedoch vorwiegend aus dem Labor. Sie helfen dabei, die Mechanismen zu verstehen, belegen jedoch keine klinische Wirksamkeit. In

HT22-Hippocampus-Neuronen hat Cordycepin die durch Glutamat verursachte Apoptose reduziert. Es verringerte auch die Apoptose, die mit Stress des endoplasmatischen Retikulums zusammenhängt [11]. Der Hippocampus ist ein Teil des Gehirns, der an Gedächtnis und Lernen beteiligt ist. Diese Erkenntnis ist wichtig, da zu viel Glutamat die Abwehrmechanismen der Zelle überfordern kann. Dies begünstigt einen übermäßigen Kalziumeinstrom und eine Kette oxidativer Schäden. Das Neuron gerät daraufhin in einen Zustand biochemischer Belastung, der dem Zelltod vorausgeht. In einer anderen Studie wurden Neuronen einer Ansammlung von Beta-Amyloid ausgesetzt. Der beobachtete Schutz hing von ERK/CREB ab, Signalen, die mit der Fähigkeit der Zelle zum Überleben und der neuronalen Plastizität verbunden sind [31]. ERK ist



eine Kinase, also ein Protein, das Phosphatgruppen überträgt. CREB hingegen ist ein Transkriptionsfaktor, der die Genexpression reguliert. Die Zelle wird nicht „wiederbelebt“, kann aber besser auf Stress reagieren. So kann sie einige wesentliche Funktionen länger aufrechterhalten. Auch Studien zu AMPK helfen zu verstehen, warum diese Effekte plausibel sind. AMPK ist ein Protein, das den Energiestatus der Zelle misst. Wenn die Energie sinkt oder der Stress zunimmt, verändert die Zelle ihre Prozesse. Auf diese Weise versucht sie, besser zu widerstehen [9][33]. Es bleibt jedoch eine wichtige Einschränkung: Diese Daten beweisen nicht, dass Cordyceps das Gedächtnis, die Konzentration oder neurologische Erkrankungen bei Menschen verbessert. Sie deuten lediglich darauf hin, dass einige Nervenbahnen empfindlich auf seine Verbindungen reagieren [11][31][33]. Diese Daten müssen im Rahmen der zerebralen Pathophysiologie betrachtet werden. Diese Disziplin untersucht, wie und warum sich eine normale Gehirnfunktion verändert. Neuronen benötigen viel Energie und vertragen Hypoxie, also Sauerstoffmangel, nur schlecht. Sie sind auch anfällig, wenn sich die Kalzium-Homöostase verändert. Dieser Begriff bezeichnet das Gleichgewicht von Kalzium innerhalb und außerhalb der Zelle. Die Forscher untersuchen daher AMPK, ERK/CREB und die Reaktion auf Stress des endoplasmatischen Retikulums. Diese Systeme versprechen keine sofortige Linderung der Symptome. Sie können jedoch darüber entscheiden, ob eine Zelle sich anpassen kann oder aufgibt. In diesem Zusammenhang wird Cordyceps als Modulator der biologischen Resilienz untersucht. Die Hypothese ist mit der Biochemie des Pilzes vereinbar. Sie ist jedoch noch weit von einer validen therapeutischen Anwendung für Patienten entfernt. Die relevantesten Beobachtungen betreffen drei biologische Ebenen:

- Den Schutz von Neuronen, die Glutamat und Stress des endoplasmatischen Retikulums ausgesetzt sind.
- Die Aktivierung zellulärer Signalwege, die mit der Fähigkeit der Zelle zum Überleben und zur Anpassung verbunden sind.
- Die Kontrolle der Gehirnnetzwerke, die Wachheit, Orexin und Noradrenalin regulieren.

Studien zum Nervensystem untersuchen vor allem den Schutz von Neuronen und die Netzwerke, die das Gehirn aktivieren. Die folgenden Abschnitte

erläutern, wie Energie, Wachzustand und chemische Signale Neuronen unter Stress beeinflussen.

8.1 Neuroprotektion und oxidativer Stress

Der erste Bereich betrifft die Neuroprotektion, also den Schutz von Nervenzellen vor Schäden. In den bereits genannten Zellmodellen [11] schützte Cordycepin die Neuronen vor Glutamat. Wenn dieser Botenstoff im Übermaß vorhanden ist, kann er toxisch wirken. Er kann die Nervenzellen nämlich überstimulieren und schädigen. Eine weitere Studie setzte bestimmte Zellen einer Ansammlung von Beta-Amyloid aus. Der beobachtete Schutz involvierte ERK/CREB [31]. Dieser Signalweg hilft Neuronen, sich an Stress anzupassen und zu überleben. Dies bedeutet nicht, dass der Pilz das Gehirn „repariert“. Es zeigt vielmehr eine mögliche Wirkung gegen oxidativen Stress, Kalziumüberschuss und Schäden am endoplasmatischen Retikulum. Einfach ausgedrückt: Die Studie maß die Widerstandsfähigkeit der Zellen gegenüber Schäden. Sie bewertete keine Therapie am Menschen. Der Übergang von einer Zellkultur zum menschlichen Körper bleibt komplex. Entzündungen, die Leber, die Blut-Hirn-Schranke und individuelle Unterschiede können die Wirkungen verändern. Die Blut-Hirn-Schranke reguliert den Durchtritt von Substanzen aus dem Blut in das Gehirn.

8.2 Autophagie, AMPK und neurodegenerative Modelle

Ein zweiter Forschungsansatz untersucht die Autophagie, bei der beschädigte Zellbestandteile abgebaut und recycelt werden. In einem Modell der Machado-Joseph-Krankheit aktivierte Cordycepin dieses System. Der Effekt wurde durch die Phosphorylierung von AMPK vermittelt [25]. Die Phosphorylierung fügt eine Phosphatgruppe hinzu und kann die Aktivität eines Proteins verändern. AMPK signalisiert, wenn die Zelle ihren Energieverbrauch drosseln und sich anpassen muss. Diese Reaktion ist besonders wichtig für Neuronen, die angesammelte Schäden nur schwer kompensieren können. Eine weitere präklinische Studie beobachtete einen Schutz der Neuronen im Hippocampus vor Überaktivität. Die Forscher hatten diese Aktivität durch Beta-Amyloid und Ibotensäure induziert [34]. Ibotensäure wirkt exzitotoxisch: Sie



kann Neuronen schädigen, indem sie diese übermäßig stimuliert. Die Daten legen nahe, dass Cordyceps der Zelle dabei helfen könnte, Stress zu bewältigen. Er könnte zudem die Beseitigung beschädigter Bestandteile fördern, bevor sich der Schaden ausweitet. Es handelt sich jedoch um Ergebnisse aus spezifischen Modellen, nicht um Daten von Menschen mit neurodegenerativen Erkrankungen. Derzeit deuten sie lediglich auf eine mögliche Unterstützung der zellulären Anpassungsmechanismen hin [25][34]. AMPK verknüpft häufig den Energieverbrauch mit dem Überleben der Zelle. Wenn es aktiviert wird, begrenzt es energieverbrauchende Prozesse und fördert die zelluläre Selbstreinigung. Der Mechanismus hat eine interessante biologische Grundlage, muss jedoch noch beim Menschen validiert werden.

8.3 Arousal, Stress und neuronale Netzwerke

Das dritte Thema ist das Arousal, der Gehirnzustand, der Wachheit, Aufmerksamkeit und die Reaktion auf Reize aufrechterhält. Studien zu Cordyceps untersuchen auch das Orexin-System. Dieser Schaltkreis kommuniziert mit dem Locus coeruleus, einem Areal, das Aufmerksamkeit und Noradrenalin reguliert [35][36]. Orexin ist ein Neuropeptid, also ein kleines Molekül, das von Neuronen zur Kommunikation genutzt wird. Weitere Studien zeigen, dass Orexin die Neuronen über Glutamat und Nicht-NMDA-Rezeptoren reguliert. Auch Stickstoffmonoxid trägt zur Steuerung dieser Netzwerke bei [37][38] [39]. Einige Autoren weisen auf AMPK und nNOS als Bindeglieder zwischen zellulärer Energie und der nervösen Stressreaktion hin [40][41] [42][43] [44][33]. nNOS ist das Enzym, das in Neuronen Stickstoffmonoxid produziert. Es geht nicht darum, dass der Pilz das „Gehirn stimuliert“. Seine Inhaltsstoffe wurden in Systemen untersucht, die Energie, Wachheit und Anpassung miteinander verknüpfen. Die Daten bleiben jedoch indirekt und experimentell. Sie belegen keine Auswirkungen auf Schlaf, Aufmerksamkeit oder Angstzustände beim Menschen [35][36] [39]. Auf physiologischer Ebene könnte der Pilz auf die Netzwerke einwirken, die die Wachsamkeit regulieren. Er könnte auch das Gleichgewicht zwischen aktiver Phase und Erholung beeinflussen. Es fehlen jedoch Belege, die diese

Effekte mit messbarem klinischem Nutzen verbinden.

9. CORDYCEPS UND ONKOLOGISCHE FORSCHUNG

In der Onkologie richtet sich das Interesse am Cordyceps auf spezifische Moleküle, allen voran das Cordycepin. Dieser Stoff kann auf für Tumorzellen lebenswichtige Prozesse einwirken. Dazu gehören die Proteinproduktion, interne Signalwege und das Ansprechen auf Medikamente. Es geht nicht darum, ob der Pilz einen Tumor „abtötet“, sondern darum, zu bewerten, ob bestimmte Verbindungen das Wachstum hemmen oder die kranke Zelle schwächen können. Fast alle Daten stammen jedoch aus Zellkulturen oder von Tieren. Der Übergang zur klinischen Anwendung am Menschen hat daher noch nicht stattgefunden [28,8]. Um diese Daten zu verstehen, muss man die am häufigsten untersuchten biologischen Prozesse betrachten. Die Tumorzelle lebt oft unter starkem metabolischen Stress. Sie verbraucht viel Energie, passt sich an Sauerstoffmangel an und aktiviert effiziente Abwehrmechanismen. Der Stoffwechsel (die Gesamtheit der Prozesse, die Energie erzeugen und verbrauchen) wird daher zu einem möglichen Zielpunkt. Ein Molekül, das auf diese Signalwege einwirkt, beseitigt den Tumor nicht allein. Es kann jedoch einige Abwehrmechanismen reduzieren, die die kranke Zelle zum Überleben nutzt. Deshalb wird Cordycepin als möglicher Modulator untersucht, nicht als bereits erprobtes Medikament. Das Interesse ergibt sich aus seinen Auswirkungen auf mehrere Prozesse, die in verschiedenen Studienmodellen beobachtet wurden [3,2,4,5]. Diese Daten erfordern Vorsicht, da ein Eingreifen in wichtige Signalwege noch keinen klinischen Effekt beweist. Es kann jedoch nützliche Grundlagen für neue Studien bieten. Einige Arbeiten deuten darauf hin, dass Gliomzellen besser auf Temozolomid ansprechen, wenn sie Cordycepin ausgesetzt sind. Ein ähnlicher Effekt zeigte sich beim Osteosarkom, das mit Cisplatin behandelt wurde. In beiden Fällen waren AMPK und die Reduktion des AKT-Signals beteiligt [25,26]. Das Gliom entsteht aus Gliazellen, die das Nervensystem stützen. Das Osteosarkom hingegen ist ein bösartiger Tumor, der den Knochen befällt. In einem anderen Modell reduzierte die Wirkung auf die AMPK/mTORC1-Achse einige Anzeichen von



Medikamentenresistenz. mTORC1 ist eine Proteingruppe, die das Zellwachstum und die Proteinsynthese reguliert. Diese Studie stellte auch eine verringerte Fähigkeit fest, bei Sauerstoffmangel zu überleben [19]. Die Ergebnisse sind konsistent und nützlich für die Untersuchung kombinierter Therapien, bleiben aber vorläufig. Sie beweisen nicht, dass der Stoff allein einen Tumor beim Menschen heilen kann. Übersichtsarbeiten bestätigen diese Einschränkung der verfügbaren Belege. Es fehlen klinische Standarddosierungen, definierte Anwendungszeiträume und bei Patienten gemessene Vorteile [3,28,8]. Die Forschung bewertet Cordyceps nicht als einfaches „natürliches Nahrungsergänzungsmittel“. Sie untersucht ihn als Quelle bioaktiver Verbindungen (Substanzen mit messbaren biologischen Wirkungen). Cordycepin kann auf die Transkription einwirken, also auf das Kopieren der Daten von der DNA auf die RNA. Es kann auch die Proteinsynthese und die internen Signalwege der Zelle beeinflussen. Diese Wirkungen erklären das Interesse in Bezug auf Wachstum, Migration, Invasion und Therapieresistenz. Es bleibt jedoch eine zentrale Frage: Sind die Effekte stark und sicher genug, um Patienten zu helfen? Zum jetzigen Zeitpunkt ist dieser Nutzen nicht nachgewiesen [5,28,29]. Cordyceps spielt daher eine interessante, aber sensible Rolle in der modernen Forschung. Einerseits hilft er dabei zu untersuchen, wie man auf den Energieverbrauch im Tumor einwirken kann. Andererseits zeigt er, dass eine komplexe biologische Substanz nicht zwangsläufig bei der Heilung nützlich ist. Die Distanz zwischen Labor und Patient bleibt groß und erfordert sehr klare Worte. Heute liegt der Wert von Cordyceps vor allem darin, solide Hypothesen zu erstellen, die überprüft werden müssen. Er kann jedoch keine bewährten onkologischen Therapien ersetzen [1,17,8]. Die wichtigsten untersuchten Effekte betreffen einige Signalwege, die Energie, Wachstum und zelluläre Abwehr regulieren:

- die Aktivierung von AMPK kann das Wachstum bremsen und den Stress durch Energiemangel erhöhen;
- die Wirkung auf AKT und mTOR kann die Signale reduzieren, die die Zelle zur Vermehrung anregen;
- die Reduktion von HIF-1 α und MDR kann die Anpassung und die Resistenz gegenüber Medikamenten begrenzen;

- die Auswirkungen auf Adhäsion und Proteinsynthese können die Ausbreitung und das Überleben von Tumorzellen behindern.

Onkologische Studien zu Cordyceps untersuchen Mechanismen, die das Ansprechen auf Therapien verbessern könnten. Die drei am häufigsten genannten Themen betreffen die zelluläre Energie, die Arzneimittelresistenz und die Anpassungsfähigkeit von Tumoren.

9.1 AMPK und Behandlungssensitivität

In menschlichen Gliomzellen hat Cordycepin die Zellen empfindlicher gegenüber Temozolomid gemacht. Dies geschah durch die Aktivierung von AMPK und die Blockierung des AKT-Signalwegs [21]. Beim Osteosarkom wurde ein ähnliches Ergebnis mit Cisplatin erzielt. Dieses Molekül machte die Zellen reaktionsfähiger, indem es AMPK aktivierte und das AKT-Signal reduzierte [12]. Die Bedeutung dieser Studien ist auch für Laien verständlich. Cordycepin kann das zelluläre Gleichgewicht in Richtung von Bedingungen verschieben, die für das Überleben des Tumors weniger günstig sind. Gleichzeitig kann es Bedingungen schaffen, die das Ansprechen auf Medikamente begünstigen. AMPK ist ein Protein, das den Energiegehalt einer Zelle erfasst. Wenn es aktiviert wird, registriert die Zelle häufig einen Energiemangel und drosselt ihre Wachstumsprozesse. Dieser Effekt kann es für Tumorzellen schwieriger machen, ihr schnelles Wachstum aufrechtzuerhalten. Es handelt sich jedoch um Laborexperimente an Zellen, nicht um klinische Studien, die direkt an Patienten durchgeführt wurden. Die zentrale Erkenntnis lautet daher nicht „heilt den Tumor“, sondern „wirkt auf zentrale Wachstumswege ein“. Diese Unterscheidung trennt die mechanistische Begründung, die auf biologischen Mechanismen basiert, von einer möglichen klinischen Anwendung. Die Verbindung zu AMPK steht im Einklang mit Beobachtungen in anderen Geweben. Wenn der Energiesensor aktiviert wird, kann er das Zellwachstum unter Stress bremsen [9][21][12]. Dieselbe Logik findet sich auch in Studien aus anderen biologischen Kontexten. Hier zeigt Cordycepin eine beständige Fähigkeit, die Energiehomöostase zu regulieren. Die Energiehomöostase ist das interne Gleichgewicht, das



die Zelle in einem für ihre Funktion geeigneten Zustand hält. Dieser Aspekt ist in der Onkologie von großer Bedeutung, da viele Tumoren ihren Stoffwechsel verändern, um Therapien zu widerstehen. Wenn ein natürlicher Stoff diese Anpassungen schwächt, könnte er bei kombinierten Therapieansätzen nützlich sein, die es zu erforschen gilt. Es bleibt jedoch unerlässlich, zwischen dem mechanistischen Potenzial und einem bereits nachgewiesenen klinischen Nutzen zu unterscheiden. In der Praxis weist das Labor eine Richtung, doch Studien am Patienten müssen diese noch bestätigen. Es bedarf Forschungsarbeiten, die hinsichtlich der Teilnehmerzahl, der Dauer und der für den Patienten nützlichen Ergebnisse angemessen sind [9][25] [26].

9.2 mTOR, AKT und Wachstumskontrolle

Eine weitere intensiv untersuchte Achse betrifft mTOR, einen Signalweg, der verschiedene zelluläre Prozesse reguliert. Dieser Signalweg unterstützt das Wachstum, die Proteinsynthese und die metabolische Anpassung. In Zellen eines Gallenblasenkarzinoms reduzierte Cordycepin die Expression von MDR und HIF-1 α . Dieser Effekt beruhte auf der Regulation des AMPK/mTORC1-Signalwegs [19]. MDR bezeichnet Mechanismen, die die Zelle weniger durchlässig für Medikamente machen oder diese aus der Zelle ausschleusen. HIF-1 α hingegen ist ein Transkriptionsfaktor, der das Überleben bei Sauerstoffmangel unterstützt. Einfach ausgedrückt: Ein Eingriff in diesen Schaltkreis kann den Tumor weniger resistent machen. Er kann seine Fähigkeit einschränken, mit einer ungünstigen Umgebung und Behandlungen umzugehen. Auch hier ist die biologische Begründung fundiert. Wenn ein Molekül die Aktivität eines wachstumsfördernden Signalwegs reduziert, kann es die Zelle ausbremsen. Die Einschränkung bleibt jedoch struktureller Natur: Diese Ergebnisse zeigen einen biologischen Zusammenhang, keine klinische Wirksamkeit. Cordyceps wird daher nicht nur wegen einer allgemeinen antioxidativen Wirkung untersucht. Er ist eine Quelle für Verbindungen, die an entscheidenden Knotenpunkten der Tumorbio-logie ansetzen. Auf Ebene der Pathophysiologie, also der Prozesse, die die Krankheit verursachen, sind die Daten konsistent. Tumoren wachsen nicht nur, weil sich ihre Zellen schnell teilen. Sie verändern auch ihren Stoffwechsel,

passen sich an Sauerstoffmangel an und entwickeln Abwehrmechanismen gegen Medikamente. Eine Verbindung, die diese drei Aspekte reduziert, kann in der präklinischen Forschung nützlich sein. Aus diesem Grund analysieren viele Studien zu Cordycepin Signale, die mit dem Überleben und der zellulären Resistenz zusammenhängen. Sie sind hingegen weniger auf die direkte Behandlung von Patienten ausgerichtet. Die Fachliteratur spricht daher von einer möglichen modulierenden Wirkung, nicht von einer etablierten Therapie [19][3] [28].

9.3 Zellwachstum, Adhäsion und interpretative Grenzen

Eine ältere Studie zu den Mechanismen hat gezeigt, dass Cordycepin zwei Prozesse hemmen kann. Dabei handelt es sich um die Proteinsynthese und die Zelladhäsion, die mit der Signaltransduktion verbunden sind [29]. Die Signaltransduktion umfasst die molekularen Schritte, die Anweisungen in das Zellinnere leiten. Diese Daten betreffen grundlegende Funktionen des zellulären Lebens. Die Produktion von Proteinen und die Anhaftung an Gewebe sind für das Leben und das Verhalten von Zellen essenziell. In einigen Tumormodellen können diese Effekte die Fähigkeit zum Wachstum und zur Ausbreitung verringern. Die Einschränkung bleibt jedoch dieselbe: Ein Effekt in vitro deutet nicht zwangsläufig auf einen klinischen Nutzen hin. Die Literatur zu Cordyceps liefert somit verschiedene, in sich schlüssige Signale. Diese Signale stärken die Grundlagen der Forschung, belegen jedoch keinen therapeutischen Effekt. Der Beitrag von Cordyceps zur Krebsforschung bleibt vor allem mechanistischer und konzeptioneller Natur. Er zeigt, wie ein natürliches Molekül auf das Wachstum, die Energie und die Anpassung von Zellen einwirken kann. Dies eröffnet neue Forschungswege, die jedoch interessant und weiterhin experimentell bleiben [21][12] [32][29]. Für diejenigen, die das Thema auf klinischer Ebene betrachten, bleibt die Botschaft nüchtern, aber nützlich. Cordyceps sollte nicht als Krebsheilmittel dargestellt werden, da Nachweise am Menschen fehlen. Er sollte stattdessen als nützliches Forschungsobjekt betrachtet werden, um Tumorzellen besser zu verstehen. Insbesondere hilft er dabei zu untersuchen, wie man sie weniger geschützt und anfälliger für Behandlungen machen kann. Diese Unterscheidung verhindert falsche



Erwartungen bei Patienten und deren Angehörigen. Das Risiko ist in der Onkologie besonders hoch, da erste Erkenntnisse leicht missverstanden werden können. Die Wissenschaft schreitet in Phasen voran: Zuerst werden die Mechanismen untersucht, dann die Sicherheit bewertet. Erst danach können gegebenenfalls gut konzipierte klinische Studien eingeleitet werden [1][17] [8].

10. WIE MAN CORDYCEPS BEWUSST ANWENDET

Um Cordyceps sinnvoll einzusetzen, muss man zwischen kommerziellen Versprechen und tatsächlichen Daten unterscheiden. Es reicht nicht aus, einen bekannten Namen oder eine auffällige Verpackung zu wählen. Erforderlich sind ein gut beschriebenes Produkt, ein realistisches Ziel und Zeiträume, die mit den Studien übereinstimmen. Kapseln, Pulver, Extrakte und standardisierte Produkte können sehr unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Daher bleibt ein klares Etikett ein wesentliches praktisches Kriterium [1][17]. Der Begriff Cordyceps bezeichnet nicht nur eine einzige Substanz, sondern Produkte, die sich je nach Art und verwendetem Teil unterscheiden. Auch die enthaltenen Wirkstoffe variieren von Fall zu Fall. Dazu gehören Cordycepin (ein Molekül mit potenziellen biologischen Wirkungen) und Polysaccharide (komplexe Zucker). Es sind auch andere Substanzen enthalten, deren Mengen in den Produkten stark schwanken können. Diese Unterschiede können die beobachteten Wirkungen beeinflussen [3][2] [4][5] [8]. Auch die Reaktion variiert von Person zu Person. Zudem sind die in Studien festgestellten Vorteile oft bescheiden und an spezifische Fälle gebunden. Es ist daher ratsam, die Zusammensetzung, die Tagesdosis und die vorgesehene Dauer zu kennen. Die Forschung untersucht mögliche Auswirkungen auf den Energieverbrauch, Entzündungen und die Immunabwehr. Sie bewertet auch den oxidativen Stress (Schäden durch zu viele oxidierende Moleküle). Das Produkt sollte als eine mögliche gezielte Unterstützung betrachtet werden, nicht als schnelles Heilmittel [3][4] [9][10] [21]. Die untersuchten Dosierungen liefern konkrete Anhaltspunkte, zeigen aber auch, wie wichtig der Kontext ist. Eine Studie zur Belastungstoleranz verwendete 4 g pro Tag für 1

Woche. Bei 10 Probanden wurde die Anwendung für weitere 2 Wochen fortgesetzt [6]. Nach 3 Wochen verbesserte sich die aerobe Kapazität um 4,8 ml·kg⁻¹·min⁻¹. Die aerobe Kapazität gibt den Sauerstoffverbrauch bei einer langen Belastung an. Bei wiederholten Tests stieg die Zeit bis zur Erschöpfung um 28,1 Sekunden bzw. 69,8 Sekunden. Der mögliche Effekt zeigte sich also nach einem kurzen, aber klar definierten Zeitraum [6]. Eine weitere Studie verwendete 1,68 g pro Tag über 8 Wochen. Das Myzel-Präparat stammt aus dem fadenförmigen Teil des Pilzes. Dieses Produkt steigerte die zytotoxische Aktivität der natürlichen Killerzellen. Diese Zellen des Immunsystems eliminieren infizierte oder veränderte Zellen. Die Studie umfasste insgesamt 79 Teilnehmer [7]. Eine fermentierte Formel mit 2,85 mg Cordycepin wurde über 8 Wochen bewertet. Die randomisierte kontrollierte Studie umfasste 10 Probanden pro Geschlecht und Gruppe. Andere Versuche verwendeten 333 mg dreimal täglich über 12 Wochen. In diesem Fall beobachteten die Forscher eine verbesserte metabolische Schwelle [15]. Bei 1,05 g pro Tag über 3 Monate ergaben sich keine relevanten Anzeichen. Die Daten betrafen Nieren, Leber, Elektrolyte und Lipide [45]. Bei männlichen Radrennfahrern veränderten 3 g pro Tag über 5 Wochen bestimmte Parameter nicht, darunter die maximale Sauerstoffaufnahmekapazität, die ventilatorische Schwelle und das Zeitfahren [16]. Insgesamt laden die Daten zu einem vorsichtigen und kontrollierten Gebrauch ein, insbesondere bei der Einnahme von Medikamenten oder bei chronischen Erkrankungen [17]. Mögliche Vorteile ersetzen weder das Training, eine geeignete Ernährung noch notwendige ärztliche Untersuchungen. Vor Beginn ist es nützlich, einige wesentliche Aspekte zu prüfen:

- Das Etikett muss die Art und den verwendeten Teil klar angeben.
- Die Tagesdosis sollte mit der in klinischen Studien verwendeten Dosis vergleichbar sein.
- Die Dauer des Einnahmezyklus sollte klar und realistisch sein.
- Während der Anwendung sollte die eigene Verträglichkeit beobachtet werden.
- Wer sich in Behandlung befindet, sollte den Rat eines Fachmanns einholen.

Bevor Sie sich für ein Produkt entscheiden, sollten Sie klinische Daten von reinen Werbeversprechen



unterscheiden. Es gibt drei Hauptpunkte: die Qualität der Formel, die Anwendungssicherheit und die Übereinstimmung mit dem persönlichen Ziel.

10.1 Verfügbare Formen und Qualitätskriterien

Cordyceps wird in Form von Kapseln, Tabletten, Pulvern und manchmal auch als Flüssigextrakte verkauft. Die Darreichungsform ist weniger wichtig als die tatsächliche Qualität des Produkts. Die biologischen Wirkungen hängen nämlich von der Herkunft, der Verarbeitung und dem standardisierten Gehalt ab. Ein gutes Nahrungsergänzungsmittel sollte die Art und den verwendeten Teil des Pilzes angeben. Zudem sollten die Extraktionsmethode und, sofern möglich, die Standardisierung der typischen Inhaltsstoffe aufgeführt sein. Standardisierung bedeutet, die Menge bestimmter als wichtig erachteter Moleküle konstant zu halten. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Produkte und Chargen leichter vergleichen. Dieses Kriterium ist bei Cordyceps von großer Bedeutung, da in Studien unterschiedliche Arten und Präparate verwendet werden. Oftmals können diese Produkte nicht direkt miteinander verglichen werden [3][2] [4][13] [8]. Offizielle Quellen weisen auf einen wichtigen Punkt bei Nahrungsergänzungsmitteln hin: Ein Naturprodukt garantiert nicht automatisch Qualität und Sicherheit [1][17]. In der Praxis ist ein klares Etikett nützlicher als vage Versprechen bezüglich Energie oder Vitalität. Verbraucher sollten vor der Wahl eines Produkts nach konkreten Daten suchen. Dazu gehören die Art, der verwendete Teil, Reinheitsprüfungen und eine klare Beschreibung des Extrakts. Nur so können sie sich fundiert zwischen sehr unterschiedlichen Produkten orientieren [1][6] [46]. Auch eine vielversprechende Rezeptur erfordert eine Überprüfung des tatsächlichen Inhalts. Die enthaltenen Verbindungen sollten mit denen aus den Studien übereinstimmen, wie etwa Cordycepin oder Polysaccharid-Fractionen. Die mögliche biologische Wirkung hängt nämlich genau von dieser Übereinstimmung ab [3][5] [28][29] [9].

10.2 Sicherheit und mögliche Wechselwirkungen

Viele Menschen vertragen Cordyceps gut, doch das bedeutet nicht, dass er für jeden geeignet ist. Offizielle Datenblätter weisen darauf hin, dass Nahrungsergänzungsmittel mit Medikamenten interagieren oder unerwünschte Wirkungen verursachen können [17]. Bei Cordyceps ist insbesondere bei Therapien Vorsicht geboten, die die Blutgerinnung beeinflussen. Die Blutgerinnung ist die Fähigkeit des Blutes, Gerinnsel zu bilden. Vorsicht ist auch bei Medikamenten geboten, die den Blutzuckerspiegel beeinflussen, also die Menge an Glukose im Blut regulieren. Der biologische Grund dafür ist plausibel und betrifft bestimmte im Produkt enthaltene Substanzen. Diese können auf zelluläre Signale einwirken, die mit Energie, Entzündungen und der Immunantwort zusammenhängen. Die Wirkung bleibt daher nie völlig isoliert vom Rest des Organismus [3][4] [9][10] [20]. Direkte Studien zu Wechselwirkungen sind noch begrenzt. Dennoch gilt ein praktischer Grundsatz: Ein natürliches Nahrungsergänzungsmittel ist nicht zwangsläufig neutral. Die Sicherheit hängt auch von der Dosis, der Dauer der Einnahme und der individuellen Reaktion ab. Wer an einer chronischen Krankheit leidet, sollte vor einer dauerhaften Einnahme professionellen Rat einholen. Diese Vorsicht ist umso wichtiger, wenn das Produkt zusätzlich zu anderen Behandlungen eingenommen wird. Dies gilt auch dann, wenn das Ziel eine Leistungssteigerung ist. In solchen Fällen kann die Grenze zwischen dem erwarteten Nutzen und einer unsachgemäßen Anwendung schnell verschwimmen [1][17] [23][24] [18]. Insgesamt erscheint das Produkt oft gut verträglich, erfordert jedoch dennoch Aufmerksamkeit. Vorsicht ist vor allem dann geboten, wenn Cordyceps mit anderen Behandlungen kombiniert wird [1][17].

10.3 Wann es sinnvoll ist, es in Betracht zu ziehen

Cordyceps kann als mögliche Unterstützung sinnvoll sein, nicht jedoch als sichere und unmittelbare Lösung. Es ist vernünftiger, ihn im Rahmen eines bereits gut gepflegten Lebensstils einzusetzen. Dazu gehören eine geeignete Ernährung, regelmäßiger Schlaf, ein gut geplantes Training und ein gutes

Stressmanagement. Studien zeigen interessante Daten zu bestimmten Aspekten der Leistungsfähigkeit und der Immunabwehr und untersuchen zudem verschiedene zelluläre Prozesse. Sie deuten jedoch nicht auf eine starke, konstante und für jeden gültige Wirkung hin [13][23] [15].Cordycepin und andere Derivate wirken auf zelluläre Signalwege wie AMPK. Dieser Signalweg ist an der Steuerung des Energiehaushalts in den Zellen beteiligt. Die Forschung untersucht auch Entzündungen und Apoptose (programmierter Zelltod). Zudem wird die Autophagie (das Recycling von Zellbestandteilen) bewertet. Die Ergebnisse können je nach Gewebe,

Dosierung und Art der Studie variieren [9][25] [26][19] [10][11] [20][31] [12][32] [40][33]. Im klinischen Bereich betrifft die mögliche Unterstützung spezifische Situationen. Dazu gehören bestimmte Fälle von Erschöpfung, Regeneration oder metabolische Unterstützung [14][21] [44][35] [38].Die Wahl sollte von einem präzisen Ziel und einem Qualitätsprodukt ausgehen. Wenn Art, Extrakt und Standardisierung nicht klar sind, verlieren die Daten ihren praktischen Wert. Das Nahrungsergänzungsmittel verdient Aufmerksamkeit, wenn das Produkt genau definiert ist. Man muss auch einen möglicherweise bescheidenen und kontextabhängigen Nutzen akzeptieren [1][17] [46].

11. QUADRO COMPARATIVO E SINTESI DELLE EVIDENZE

Diese Zusammenfassung enthält die nützlichsten Quellen aus der Doilist. Sie zeigt Daten zu Zusammensetzung, Immunabwehr, körperlicher Leistungsfähigkeit und zellulären Prozessen.

Sintesi delle evidenze scientifiche

Publikationsjahr	Untersuchungsbereich	Was die Studien zeigen
2004	Ausdauersport	Die Ergebnisse sind uneinheitlich und zeigen keinen konstanten Vorteil für die Ausdauer [16]
2010	körperliche Leistungsfähigkeit bei Senioren	Es zeigten sich mögliche Verbesserungen der körperlichen Belastungsschwellen, jedoch keine konstanten Veränderungen beim maximalen Sauerstoffverbrauch [15]
2013	wichtigste bioaktive Verbindungen	Die Daten sind uneinheitlich, aber Cordycepin, Adenosin und Polysaccharide bleiben die am besten untersuchten Verbindungen [47]
2018	Taxonomie, traditionelle Verwendung und Zusammensetzung	Die Gattung umfasst verschiedene Arten mit unterschiedlichen bioaktiven Profilen (Verbindungen, die auf den Körper wirken) [48]
2020	Standardisierung und Variabilität der Produkte	Art, verwendeter Teil und Verarbeitung verändern die Bedeutung des Handelsnamens erheblich [46]
2020	AMPK-Energiestoffwechselwege und Metabolismus	Die Signallage deutet auf eine Rolle von Cordycepin bei der energetischen Anpassung der Zellen hin [9]
2024	Aktivität von Cordycepin	Die Signallage stimmt bei verschiedenen biologischen Prozessen überein, mit besonderem Interesse für den Stoffwechsel und Tumore [3]



12. SINTESI EDITORIALE E CONCLUSIONI

REDAKTIONELLE EINORDNUNG DER EVIDENZ

Bei der Durchsicht der hier gesammelten Studien haben wir ein mögliches, wenn auch uneinheitliches Bild gewonnen. Cordyceps erscheint uns klarer, wenn wir ihn als eine Gruppe verschiedener Arten, Extrakte und Verbindungen betrachten. Wir können ihn daher nicht als ein einziges, einheitliches Produkt behandeln. Die besten von uns untersuchten Belege betreffen die Biologie von Cordycepin sowie einige Hinweise auf die Immunabwehr. Zudem zeigen sich mögliche Auswirkungen auf die Belastungsschwellen (die Niveaus, bei denen sich die körperliche Reaktion verändert). Wir sprechen hier jedoch von einer möglichen, kontextabhängigen Unterstützung und nicht von einer bei jedem gleichbleibenden Wirkung.

Die wesentlichen Einschränkungen, die wir beobachtet haben, ergeben sich aus der großen Vielfalt der Präparate und den oft kleinen Stichprobengrößen. Zudem sind viele Ergebnisse, die an Zellen oder Tieren gewonnen wurden, beim Menschen noch nicht bestätigt. Zwischen den Studien variieren Arten, Dosierung, Dauer, Rezeptur und die gemessenen Ergebnisse. Dies erschwert den Vergleich und erklärt, warum einige Arbeiten positive und andere neutrale Ergebnisse liefern. Die verfügbaren Belege helfen uns zwar bei der Einordnung des Themas, reichen jedoch nicht aus, um umfassende und endgültige Schlussfolgerungen zu ziehen.

ABSCHLIESSENDE KRITISCHE ANMERKUNG

Die von uns untersuchten Belege zeigen einen entscheidenden Punkt: Cordyceps ist kein einheitliches Produkt. Art, verwendeter Pflanzenteil, Kultivierung und Standardisierung (Kontrolle der Wirkstoffmenge) können die Ergebnisse stark beeinflussen. Daher fällt es uns schwer, die Studien miteinander zu vergleichen, und die Schlussfolgerungen bleiben begrenzt. Viele Untersuchungen sind kurz, haben nur wenige Teilnehmer oder umfassen selektierte Gruppen. Sie spiegeln daher nicht gut wider, was im realen Leben geschieht. Zudem stammen viele Daten aus Zell- oder Tierversuchen. Diese Studien helfen uns zwar bei der Hypothesenbildung, belegen jedoch keine klinischen Vorteile beim Menschen. Selbst wenn die Signale

übereinstimmen, bleiben Zweifel hinsichtlich Dosierung, Aufnahme und Vergleichbarkeit der Produkte. Die Belege deuten also auf ein mögliches Interesse hin, nicht auf eine sichere und für alle gleiche Wirkung. Die größte Einschränkung, die wir sehen, ist nicht der Mangel an Daten, sondern deren Fragmentierung. Es bedarf umfangreicherer Studien mit gut beschriebenen Produkten und soliden klinischen Ergebnissen. Bis dahin bleibt das Bild interessant, aber unvollständig. Diese Unsicherheit mindert nicht den Wert der Forschung, verdeutlicht aber deren Grenzen. Wir sind der Ansicht, dass Cordyceps für die Untersuchung von Stoffwechsel, Abwehrkräften und zellulärer Anpassung weiterhin vielversprechend bleibt. Der Übergang vom biologischen Signal zur praktischen Anwendung erfordert jedoch noch Bestätigungen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND REDAKTIONELLE ZUSAMMENFASSUNG

Nach Durchsicht der Forschungsergebnisse sind wir der Ansicht, dass Cordyceps ein bemerkenswerter Fall in der Naturstoffforschung ist. Er vereint drei Ebenen, die nicht immer übereinstimmen: Tradition, Biologie und Marktanwendung. Er blickt auf eine lange Anwendungstradition zurück und enthält gut untersuchte bioaktive Verbindungen. Dennoch bleiben die klinischen Belege, die wir ausgewertet haben, unvollständig, mit vielversprechenden, aber nicht immer konsistenten Daten. Diese Diskrepanz ist der Kernpunkt der Thematik. Der Name Cordyceps bezeichnet nicht nur einen einzigen Inhaltsstoff, sondern verschiedene Arten und Präparate mit unterschiedlichen chemischen Profilen. Daher sind die Art, die Qualität des Extrakts und die Verarbeitungsmethode ebenso wichtig wie die Dosierung. Die solidesten Belege, die wir gefunden haben, deuten auf eine mögliche Rolle bei der Modulation bestimmter Körperprozesse hin. Dazu gehören der Energiehaushalt, die Reaktion auf oxidativen Stress (Schäden durch reaktive Moleküle), die Immunabwehr und die körperliche Ausdauer. Das Thema betrifft somit den Zusammenhang zwischen Ernährung, Zellenergie und Anpassungsfähigkeit. Cordycepin ist ein Schlüsselmolekül, da es auf Signalwege wie AMPK (ein System, das die zelluläre Energie reguliert) einwirkt. Auf diese Weise kann es den Zellen helfen, die verfügbaren Ressourcen besser zu verwalten. Dieser Mechanismus ist sowohl für den



Sport als auch für die umfassendere Erforschung des menschlichen Körpers von Interesse. Das Gesamtbild lässt jedoch keine einfachen Schlussfolgerungen zu. Den von uns analysierten Daten zufolge bietet Cordyceps nicht jedem Menschen und in jedem Kontext die gleiche Unterstützung. Die Wirkungen können moderat sein und hängen von der Art des Produkts ab. Er sollte daher als ein Nahrungsergänzungsmittel innerhalb eines breiteren Rahmens betrachtet werden und nicht als Wundermittel. Ernährung, Erholung, Schlaf und körperliche Belastung bleiben zentrale Faktoren. Dieser Pilz zeigt uns, wie ein natürlicher Stoff auf Körperprozesse einwirken kann. Sein tatsächlicher Nutzen hängt jedoch von der Sorgfalt ab, mit der er untersucht und beschrieben wird. Dem Leser empfehlen wir ein einfaches Kriterium: Bewerten Sie den Stoff, nicht den Werbeslogan. Cordyceps hilft uns somit zu verstehen, wie wissenschaftliche Erkenntnisse im Bereich der Ernährung entstehen. Zuerst werden die Mechanismen untersucht, dann die klinischen Signale und schließlich deren Anwendung im realen Leben. Der Weg ist noch offen, erfordert aber bereits jetzt wissenschaftliche Strenge und Vorsicht bei der Interpretation der Daten.

Aggiornato al 22/10/2026. Questo contenuto riflette una sintesi divulgativa delle evidenze scientifiche al momento della pubblicazione e non sostituisce il parere medico.

13. TRANSPARENZ UND WISSENSCHAFTLICHE VERANTWORTUNG

Künstliche Intelligenz wurde ausschließlich als Hilfsmittel zur redaktionellen und dokumentarischen Unterstützung eingesetzt. Sämtliche Inhalte, Interpretationen, Literaturangaben und Schlussfolgerungen wurden vom Autor geprüft, überarbeitet und freigegeben, der die volle wissenschaftliche Verantwortung dafür übernimmt.

Das Manuskript wurde zudem vor der Veröffentlichung einem unabhängigen Peer-Review-Verfahren unterzogen.

Um größtmögliche Transparenz zu gewährleisten, ist die vollständige Chronologie des Artikels, einschließlich der Daten von Einreichung, Überarbeitung, Annahme und Veröffentlichung sowie der Angaben zum Peer-Review-Verfahren, auf der eigenen Seite zur Artikelhistorie verfügbar.

14. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] **Wild Mushrooms: Health Professional Fact Sheet**
2024
NIH
DOI: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/WildMushrooms-HealthProfessional/>
- [2] **Cordyceps militaris: An Overview of Its Chemical Constituents in Relation to Biological Activity**
Jędrejko et al., 2021
Foods
DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112634>
- [3] **Structural and pharmacological insights into cordycepin for neoplasms and metabolic disorders**
Zhang et al., 2024
Frontiers in Pharmacology
DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1367820>
- [4] **Cordyceps militaris as a Bio Functional Food Source: Pharmacological Potential, Anti-Inflammatory Actions and Related Molecular Mechanisms**
Phull et al., 2022
Microorganisms
DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020405>
- [5] **Therapeutic Potential and Biological Applications of Cordycepin and Metabolic Mechanisms in Cordycepin-Producing Fungi**
Qin et al., 2019
Molecules
DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24122231>
- [6] **Cordyceps militaris Improves Tolerance to High-Intensity Exercise After Acute and Chronic Supplementation**
Hirsch KR et al., 2017
Journal of Dietary Supplements
DOI: <https://doi.org/10.1080/19390211.2016.1203386>
- [7] **Immunomodulatory effects of a mycelium extract of Cordyceps (Paecilomyces hepiali; CBG-CS-2): a randomized and double-blind clinical trial**
Jung SJ et al., 2019
BMC Complementary and Alternative Medicine
DOI: <https://doi.org/10.1186/s12906-019-2483-y>



- [8] A Systematic Review of the Biological Effects of Cordycepin
Radhi et al., 2021
Molecules
DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26195886>
- [9] Mechanism of Activation of AMPK by Cordycepin
Hawley et al., 2020
Cell Chemical Biology
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2020.01.004>
- [10] Cordycepin Ameliorates Nonalcoholic Steatohepatitis by Activation of the AMP Activated Protein Kinase Signaling Pathway
Lan et al., 2021
Hepatology
DOI: <https://doi.org/10.1002/hep.31749>
- [11] The neuroprotective effects of cordycepin inhibit glutamate-induced oxidative and ER stress-associated apoptosis in hippocampal HT22 cells
Jin et al., 2014
NeuroToxicology
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2014.01.005>
- [12] Cordycepin activates autophagy through AMPK phosphorylation to reduce abnormalities in Machado–Joseph disease models
Marcelo et al., 2019
Human Molecular Genetics
DOI: <https://doi.org/10.1093/hmg/ddy328>
- [13] Fermented Ophiocordyceps sinensis mycelium products for preventing contrast-associated acute kidney injury: a systematic review of randomized controlled trials
Pu et al., 2024
Renal Failure
DOI: <https://doi.org/10.1080/0886022x.2023.2300302>
- [14] Current Evidence of Ergogenic and Post-Exercise Recovery Effects of Dietary Supplementation with Cordyceps militaris in Humans—A Narrative Review
Jędrejko et al., 2026
Nutrients
DOI: <https://doi.org/10.3390/nut8050781>
- [15] Effect of Cs-4[®] (Cordyceps sinensis) on Exercise Performance in Healthy Older Subjects: A Double-Blind, Placebo-Controlled Trial
Chen et al., 2010
The Journal of Alternative and Complementary Medicine
DOI: <https://doi.org/10.1089/acm.2009.0226>
- [16] Cordyceps Sinensis (CordyMax Cs-4) Supplementation Does Not Improve Endurance Exercise Performance
Parcell et al., 2004
International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism
DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsnem.14.2.236>
- [17] Dietary Supplements
2026
FDA
DOI: <https://www.fda.gov/food/dietary-supplements>
- [18] Efficacy and safety of Cordyceps sinensis (Hirsutella sinensis, Cs-C-Q80) in chronic bronchitis
Shu et al., 2024
Frontiers in Pharmacology
DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1428216>
- [19] Cordycepin Down-Regulates Multiple Drug Resistant (MDR)/HIF-1α through Regulating AMPK/mTORC1 Signaling in GBC-SD Gallbladder Cancer Cells
Wu et al., 2014
International Journal of Molecular Sciences
DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms150712778>
- [20] Cordycepin Decreases Ischemia/Reperfusion Injury in Diabetic Hearts via Upregulating AMPK/Mfn2-dependent Mitochondrial Fusion
Yu et al., 2021
Frontiers in Pharmacology
DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.754005>
- [21] Cordycepin combined with antioxidant effects improves fatigue caused by excessive exercise
Cheng et al., 2025
Scientific Reports
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92790-3>



- [22] **Structural Elucidation and Activities of Cordyceps militaris-Derived Polysaccharides: A Review**
Miao et al., 2022
Frontiers in Nutrition
DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.898674>
- [23] **Use of bailing capsules (cordyceps sinensis) in the treatment of chronic kidney disease: a meta-analysis and network pharmacology**
Tao et al., 2024
Frontiers in Pharmacology
DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1342831>
- [24] **Bidirectional regulatory effects of Cordyceps on arrhythmia: Clinical evaluations and network pharmacology**
Wang et al., 2022
Frontiers in Pharmacology
DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.948173>
- [25] **Cordycepin Augments the Chemosensitivity of Human Glioma Cells to Temozolomide by Activating AMPK and Inhibiting the AKT Signaling Pathway**
Bi et al., 2018
Molecular Pharmaceutics
DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.8b00551>
- [26] **Cordycepin augments the chemosensitivity of osteosarcoma to cisplatin by activating AMPK and suppressing the AKT signaling pathway**
Li et al., 2021
Cancer Cell International
DOI: <https://doi.org/10.1186/s12935-021-02411-y>
- [27] **Immunomodulatory effect of exo-polysaccharides from submerged cultured Cordyceps sinensis: enhancement of cytokine synthesis, CD11b expression, and phagocytosis**
Kuo et al., 2007
Applied Microbiology and Biotechnology
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-007-0880-5>
- [28] **The role and mechanisms of cordycepin in inhibiting cancer cells**
Yu et al., 2024
Brazilian Journal of Medical and Biological Research
DOI: <https://doi.org/10.1590/1414-431x2024e13889>
- [29] **Cordycepin Inhibits Protein Synthesis and Cell Adhesion through Effects on Signal Transduction**
Wong et al., 2010
Journal of Biological Chemistry
DOI: <https://doi.org/10.1074/jbc.m109.071159>
- [30] **Beneficial Effect of Cordyceps militaris on Exercise Performance via Promoting Cellular Energy Production**
Choi et al., 2020
Mycobiology
DOI: <https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1831135>
- [31] **Cordycepin mediates neuroprotection against apoptosis via ERK/CREB signaling activation in Aβ₁₋₄₂ induced neuronal cell models**
Zhou et al., 2025
Ibrain
DOI: <https://doi.org/10.1002/ibra.12192>
- [32] **Cordycepin protects against b-amyloid and ibotenic acid-induced hippocampal CA1 pyramidal neuronal hyperactivity**
Yao et al., 2019
The Korean Journal of Physiology & Pharmacology
DOI: <https://doi.org/10.4196/kjpp.2019.23.6.483>
- [33] **Inhibition of the AMPK/nNOS pathway for neuroprotection in stroke**
Khan et al., 2016
Neural Regeneration Research
DOI: <https://doi.org/10.4103/1673-5374.179039>
- [34] **Cordycepin Attenuates Testosterone-Induced Benign Prostatic Hyperplasia in Rats via Modulation of AMPK and AKT Activation**
Alamoudi et al., 2022
Pharmaceutics
DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14081652>
- [35] **Orexin A Activates Locus Coeruleus Cell Firing and Increases Arousal in the Rat**
Hagan JJ et al., 1999
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1999;96(19):10911-10916.
DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.96.19.10911>



- [36] **Orexin-A Infusion in the Locus Ceruleus Triggers Norepinephrine (NE) Release and NE-Induced Long-Term Potentiation in the Dentate Gyrus**
Walling et al., 2004
The Journal of Neuroscience
DOI: <https://doi.org/10.1523/jneurosci.1587-04.2004>
- [37] **Extracellular Calcium Contributes to Orexin-Induced Postsynaptic Excitation of the Rat Locus Coeruleus Neurons**
Kourosh-Armani et al., 2022
International Journal of Peptide Research and Therapeutics
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10989-022-10379-0>
- [38] **Nitric Oxide Mediates Selective Degeneration of Hypothalamic Orexin Neurons through Dysfunction of Protein Disulfide Isomerase**
Obukuro et al., 2013
Journal of Neuroscience
DOI: <https://doi.org/10.1523/jneurosci.0595-13.2013>
- [39] **Activation of orexin neurons through non-NMDA glutamate receptors evidenced by c-Fos immunohistochemistry**
Eyigor et al., 2010
Endocrine
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12020-009-9284-x>
- [40] **Oxidative stress induces phosphorylation of neuronal NOS in cardiomyocytes through AMP-activated protein kinase (AMPK)**
Kar et al., 2015
Biochemical and Biophysical Research Communications
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2015.02.113>
- [41] **Reducing neuronal nitric oxide synthase (nNOS) expression in the ventromedial hypothalamus (VMH) increases body weight and blood glucose levels while decreasing physical activity in female mice**
Hirschberg et al., 2024
DOI: <https://doi.org/10.1101/2024.05.15.594324>
- [42] **AMP-activated protein kinase and nitric oxide regulate the glucose sensitivity of ventromedial hypothalamic glucose-inhibited neurons**
Murphy et al., 2009
American Journal of Physiology-Cell Physiology
DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00127.2009>
- [43] **Blocking a vicious cycle nNOS/peroxynitrite/AMPK by S-nitrosoglutathione: implication for stroke therapy**
Khan et al., 2015
BMC Neuroscience
DOI: <https://doi.org/10.1186/s12868-015-0179-x>
- [44] **A Functional Link between AMPK and Orexin Mediates the Effect of BMP8B on Energy Balance**
Martins et al., 2016
Cell Reports
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2016.07.045>
- [45] **Safety Assessment of HEA-Enriched Cordyceps cicadae Mycelium: A Randomized Clinical Trial**
Tsai et al., 2021
Journal of the American College of Nutrition
DOI: <https://doi.org/10.1080/07315724.2020.1743211>
- [46] **Can Cordyceps cicadae be used as an alternative to Cordyceps militaris and Cordyceps sinensis? – A review**
Nxumalo et al., 2020
Journal of Ethnopharmacology
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112879>
- [47] **Bioactive principles from Cordyceps sinensis: A potent food supplement – A review**
Shashidhar et al., 2013
Journal of Functional Foods
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.04.018>
- [48] **The genus Cordyceps : An extensive review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology**
Olatunji et al., 2018
Fitoterapia
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2018.05.010>
- [49] **Morphological study of orexin neurons in the hypothalamus of the Long-Evans rat, with special reference to co-expression of orexin and NADPH-diaphorase or nitric oxide synthase activities**
Cheng et al., 2003
Neuroscience Research
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0168-0102\(03\)00026-9](https://doi.org/10.1016/s0168-0102(03)00026-9)



- [50] **Endogenous Nitric Oxide Inhibits, Whereas Awakening Stimuli Increase, the Activity of a Subset of Orexin Neurons**
Yamakawa et al., 2018
Biological and Pharmaceutical Bulletin
DOI: <https://doi.org/10.1248/bpb.b18-00633>
- [51] **Orexin Modulates Behavioral Fear Expression through the Locus Coeruleus**
Soya S et al., 2017
Nature Communications. 2017;8:1606.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01782-z>
- [52] **Orexin/hypocretin system modulates amygdala-dependent threat learning through the locus coeruleus**
Sears et al., 2013
Proceedings of the National Academy of Sciences
DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1320325110>
- [53] **Astrocyte Glutamate Uptake and Signaling as Novel Targets for Antiepileptogenic Therapy**
Peterson et al., 2020
Frontiers in Neurology
DOI: <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.01006>
- [54] **Genetic inactivation of mTORC1 or mTORC2 in neurons reveals distinct functions in glutamatergic synaptic transmission**
McCabe et al., 2020
eLife
DOI: <https://doi.org/10.7554/elife.51440>
- [55] **Physiological and Pathological Role of mTOR Signaling in Astrocytes**
Hochmuth et al., 2025
Neurochemical Research
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11064-024-04306-6>
- [56] **mTOR Promotes Astrocyte Activation and Participates in Neuropathic Pain Through Upregulation of RIP3**
Dong B et al., 2025
Neurochemical Research. 2025;50(2):93.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11064-025-04341-x>
- [57] **Hypocretin/Orexin Excites Hypocretin Neurons via a Local Glutamate Neuron: A Potential Mechanism for Orchestrating the Hypothalamic Arousal System**
Li Y et al., 2002
Neuron. 2002;36(6):1169-1181.
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(02\)01132-7](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(02)01132-7)
- [58] **SLC38A10 Regulates Glutamate Homeostasis and Modulates the AKT/TSC2/mTOR Signaling Pathway in Primary Mouse Cortical Cells**
Tripathi R et al., 2022
Frontiers in Cell and Developmental Biology. 2022;10:854397.
DOI: <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.854397>
- [59] **Elevated gene expression of glutamate receptors in noradrenergic neurons from the locus coeruleus in major depression**
Chandley et al., 2014
The International Journal of Neuropsychopharmacology
DOI: <https://doi.org/10.1017/S1461145714000662>
- [60] **Dietary therapy restores glutamatergic input to orexin/hypocretin neurons after traumatic brain injury in mice**
Elliott et al., 2018
Sleep
DOI: <https://doi.org/10.1093/sleep/zsx212>
- [61] **Monosynaptic Glutamatergic Activation of Locus Coeruleus and Other Lower Brainstem Noradrenergic Neurons by the C1 Cells in Mice**
Holloway et al., 2013
The Journal of Neuroscience
DOI: <https://doi.org/10.1523/jneurosci.2916-13.2013>
- [62] **Glutamatergic Projections from the Ventrolateral Periaqueductal Gray to the Locus Coeruleus Orchestrate Adaptive Arousal States in Threat Contexts**
Wang S et al., 2026
Neuroscience Bulletin. 2026;42:255-269.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12264-025-01491-4>
- [63] **Noradrenergic Activation in the Paraventricular Nucleus During Acute and Repeated Immobilization Stress: An In Vivo Microdialysis Study**
Pacak K et al., 1992
Brain Research. 1992;589(1):91-96.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(92\)91165-b](https://doi.org/10.1016/0006-8993(92)91165-b)
- [64] **Activation of Glutamate Transporters in the Locus Coeruleus Paradoxically Activates Descending Inhibition in Rats**
Hayashida K et al., 2010
Brain Research. 2010;1317:80-86.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.12.086>



- [65] **Properties and Modulation of Excitatory Inputs to the Locus Coeruleus**
Barcomb K et al., 2022
The Journal of Physiology. 2022;600(22):4897-4916.
DOI: <https://doi.org/10.1113/jp283605>
- [66] **Astrocytes Amplify Neuronal Dendritic Volume Transmission Stimulated by Norepinephrine**
Chen et al., 2019
Cell Reports
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.11.092>
- [67] **Role of Paraventricular Noradrenergic/Epinephrine Inputs on Hypothalamo-Pituitary-Adrenal Axis Responses to Acute and Chronic Stress**
Flak JN et al., 2014
European Journal of Neuroscience. 2014;39(11):1903-1911.
DOI: <https://doi.org/10.1111/ejn.12587>
- [68] **Regulation of corticotropin releasing hormone neuronal network activity by noradrenergic stress signals**
Gouws et al., 2022
The Journal of Physiology
DOI: <https://doi.org/10.1113/jp283328>
- [69] **Relationship of Alpha-1- and Alpha-2-Adrenergic-Binding Sites to Regions of the Paraventricular Nucleus of the Hypothalamus Containing Corticotropin-Releasing Factor and Vasopressin Neurons**
Cummings et al., 2008
Neuroendocrinology
DOI: <https://doi.org/10.1159/000124965>
- [70] **ACTH and Cortisol Responses to CRH in Acute, Subacute and Prolonged Critical Illness: A Randomized Double-Blind Placebo-Controlled Crossover Cohort Study**
Peeters B et al., 2018
Intensive Care Medicine. 2018;44(12):2048-2058.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5427-y>
- [71] **Continuous Administration of Human Corticotropin-Releasing Hormone in the Absence of Glucocorticoid Feedback in Man**
Ur et al., 2008
Neuroendocrinology
DOI: <https://doi.org/10.1159/000126840>
- [72] **The role of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in depression across the female reproductive lifecycle: current knowledge and future directions**
Hantsoo et al., 2023
Frontiers in Endocrinology
DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1295261>
- [73] **Chronic Stress and Autoimmunity: The Role of HPA Axis and Cortisol Dysregulation**
Nunez et al., 2025
International Journal of Molecular Sciences
DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms26209994>
- [74] **Defining a Serum Cortisol Cutoff After CRH Stimulation for the Diagnosis of ACTH Deficiency: A Retrospective Study Validated by a National Registry**
Izuchi T et al., 2026
Frontiers in Endocrinology. 2026;17:1741709.
DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2026.1741709>
- [75] **Cordyceps militaris Enhances Cell-Mediated Immunity in Healthy Korean Men**
Kang et al., 2015
Journal of Medicinal Food
DOI: <https://doi.org/10.1089/jmf.2014.3350>
- [76] **Advance in Cordyceps militaris (Linn) Link polysaccharides: Isolation, structure, and bioactivities: A review**
Zhang et al., 2019
International Journal of Biological Macromolecules
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.020>
- [77] **Trends in the Immunomodulatory Effects of Cordyceps militaris: Total Extracts, Polysaccharides and Cordycepin**
Lee et al., 2020
Frontiers in Pharmacology
DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.575704>
- [78] **Pharmacological and economical aspects of important species of Cordyceps sensu lato: A review**
Jameel M. Al-Khayri; Tahir Khan, 2024
Cellular and Molecular Biology
DOI: <https://doi.org/10.14715/cmb/2024.70.9.7>