

Einfluss von NADH-Supplementation in Kombination mit Fitnessstraining auf die Kognition sowie die physische und psychische Leistungsfähigkeit: Studienergebnisse

Autorinnen/Autoren: Dietmar Rösler, Kathrin Mikkeleit, Gertrude Markolin, Barbara Kocher, Julia Horn, Kerstin Schrotter, Claudia Wegberger, Norbert Fuchs

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser prospektiven randomisierten placebokontrollierten Doppelblindstudie war die Erhebung des Einflusses einer vierwöchigen NADH-Supplementation in Kombination mit einem Trainingsprogramm auf kognitive Fähigkeiten, Gesundheitszustand und auf die physische und physische Leistungsfähigkeit eines untrainierten Kollektivs. 27 statistisch vergleichbare gesunde Erwachsene nahmen vier Wochen lang an einem gezielten Trainingsprogramm teil und erhielten parallel entweder 10 mg NADH/Tag oder ein wirkstoffreies Placebopräparat. Die Sportintervention allein führte zu einer Verbesserung in sämtlichen getesteten Bereichen (motorische und kognitive Fähigkeiten, gesundheitsbezogene Lebensqualität). Die NADH-Supplementation resultierte in einer zusätzlichen Verbesserung des Gesamtgesundheitszustands sowie in einer 14,3%igen Steigerung der kognitiven Fähigkeiten im Vergleich zur Placebogruppe.

Schlüsselwörter

NADH, physische und psychische Leistungsfähigkeit, Mikronährstoffe, Training, Supplementation

ABSTRACT

The aim of this prospective randomized placebo-controlled double-blind study was to evaluate the influence of a four-week NADH supplementation in combination with an exercise program on cognitive functions, health status, and on physical and mental performance in an untrained collective. Twenty-seven statistically comparable healthy adults participated in a directed exercise program for 4 weeks while taking either 10 mg NADH/day or a placebo preparation. The exercise intervention alone resulted in improvement in all tested domains (motor and cognitive skills, health-related quality of life). NADH supplementation resulted in an additional improvement in overall health status and a 14.3% increase in cognitive abilities compared with the placebo group.

Keywords

NADH, physical and mental performance, micronutrients, physical training, supplementation



© Eugeniusz Dudziński/stock.adobe.com

► **Abb. 1** © Eugeniusz Dudziński/stock.adobe.com

Das Reduktionsäquivalent NADH (Nikotinamid-Adenin-Dinukleotid-Hydrid) ist an zahlreichen Stoffwechselreaktionen beteiligt und dient als Elektronen- und Protonendonator. Als Koenzym und temporärer Interaktionspartner für Oxidoreduktasen geht das lösliche NADH reversible Bindungen mit diesen Enzymen ein und spielt dabei eine Schlüsselrolle bei der Regulierung zahlreicher biologischer Prozesse. In seiner Funktion als Elektronentransporter nimmt NADH-Elektronen aus Stoffwechselprozessen wie beispielsweise Citratzyklus, β -Oxidation und Glykolyse auf und überträgt diese in den Mitochondrien im Rahmen der oxidativen Phosphorylierung über die NADH-Dehydrogenase auf Ubichinon-10 und letztendlich auf den Atemsaauerstoff. Daher ist NADH maßgeblich in den Energiestoffwechsel durch die Beteiligung an der Bildung von Adenosin-5'-Triphosphat (ATP) involviert.

NADH im Energiestoffwechsel

Bei sportlicher Aktivität und somit bei Kontraktionsprozessen der Skelettmuskulatur ist eine kontinuierliche Versorgung mit ATP unerlässlich. In der Skelettmuskulatur beeinflusst Bewegung die NAD^+ - und NADH-Konzentration und folglich das NAD^+/NADH -Verhältnis [37].

Da die muskulären ATP-Speicher begrenzt sind, müssen fortlaufend Stoffwechselwege aktiviert werden, um die erforderliche ATP-Produktion aufrechtzuerhalten [18]. Für gewöhnlich ist der Gesamtpool an NAD^+/NADH konstant, das bedeutet, eine Verringerung an NAD^+ führt zwangsläufig zu einer Steigerung an NADH und umgekehrt [35]. Ein zielgerichtetes Fitnesstraining kann allerdings zur Erhöhung des Gesamtpools an NAD^+/NADH beitragen [8]. Aus vorangegangenen Studien ist bekannt, dass Krafttraining eine Steigerung der NAD^+ - und NADH-Konzentration im Gewebe bedingt und Einfluss auf die Mitochondriendichte durch eine erhöhte Biogenese der Skelettmuskulatur hat [24][36].

Als zusätzlicher Stimulus kann eine externe Zufuhr von NADH zu einer Verbesserung der Sauerstoffnutzung führen. Die ATP-Produktion wird angekurbelt, was eine effizientere Energieversorgung bedingt. Bereits 1996 konnten Birkmayer und Vank veranschaulichen, dass eine Supplementation mit 5 mg NADH bei Hochleistungssportlern zu einer schnelleren Reaktionszeit und einer verbesserten Konzentrationsfähigkeit, einem Anstieg der physischen Leistungsfähigkeit und einer Senkung des Laktatpiegels führte [4]. Nachfolgende Studien lieferten teilweise kontroverse Ergebnisse [1][28].

Bei Patienten mit chronischem Müdigkeitssyndrom (chronic fatigue syndrome; CFS) konnte durch die Gabe von NADH eine Verbesserung des Erschöpfungszustands erzielt werden [5][12][13]. Da NADH im zentralen Nervensystem maßgeblich an der Dopaminsynthese beteiligt ist, unterstützt eine NADH-Supplementation die Therapie

neurologischer Erkrankungen wie Morbus Parkinson [5][6][17][22]. Die Verabreichung von NADH führte bei Morbus Alzheimer [14][15] und Depressionen [3][30] zu einer Linderung der Symptome. Lu et al. schilderten 2018 einen möglichen kausalen Zusammenhang zwischen einem verringerten NAD^+ -Spiegel und der Ausbildung von Depressionen [25]. Des Weiteren konnte eine Verbesserung in Bezug auf Gedächtnisleistung und Lernfähigkeit beobachtet werden [30][39] und allgemeine Müdigkeitszustände konnten mit NADH erfolgreich therapiert werden [21].

Ziel der Untersuchung

Zielsetzung des vorliegenden Projekts war die Objektivierung des Einflusses einer vierwöchigen Supplementation mit stabilisiertem reduzierten NADH (10 mg NADH vs. Placebo) in Kombination mit einem zeitgleich absolvierten vierwöchigen Trainingsprogramm auf die körperliche Leistungsfähigkeit, den allgemeinen Gesundheitszustand, die kognitive Leistung sowie auf die psychische und physische Leistungsfähigkeit (Reaktion, Motorik).

Methodik

Studiendesign und Proband*innen

In einer randomisierten doppelblinden placebokontrollierten Pilotstudie wurde der Einfluss einer vierwöchigen NADH-Supplementation in Kombination mit einem Trainingsprogramm auf die kognitive Leistung (Aufmerksamkeit, Konzentrationsfähigkeit), den psychischen und physischen Gesundheitszustand sowie auf Motorik und Reaktionsfähigkeit an 27 gesunden Erwachsenen untersucht.

Das Projekt wurde im Zeitraum Juni–August 2022 am Institut für Nutriologische Medizin (Unternberg, Österreich) in Kooperation mit dem Fitnessstudio MYGYM am Standort Tamsweg (Österreich) durchgeführt. Die Forderungen der Deklaration von Helsinki in der letztgültigen Fassung wurden berücksichtigt. Alle Teilnehmer*innen wurden schriftlich und mündlich über das Projekt informiert und gaben ihr schriftliches Einverständnis.

Folgende Einschlusskriterien mussten erfüllt sein: vorliegende Einverständniserklärung, gesunde untrainierte Männer und Frauen, die wöchentlich weniger als 3×30 Minuten regelmäßigen Sport betrieben, jedoch mit der Bereitschaft, an einem definierten Trainingsprogramm teilzunehmen. Zu den Ausschlusskriterien zählten: niedrige Compliance in Bezug auf die gesetzten Maßnahmen ($< 90\%$), Einnahme von Medikamenten (mit Ausnahme von Kontrazeptiva) oder Vitamin-, Mineralstoff-, Fettsäure-Supplementation, in den letzten 4 Wochen vor Studienstart, eine laufende Ernährungstherapie, eine vorliegende Stoffwechselstörung, bekannte Malabsorption, eine neurologische Grunderkrankung oder starke motorische Einschränkungen am Bewegungsapparat. Regelmäßiges Training ($> 3 \times 30$ Minuten/Woche), Unverträglichkeiten

gegen die Prüfsubstanz oder eine vorliegende Schwangerschaft.

Die Randomisierung in eine der beiden Behandlungsgruppen erfolgte über die MedCalc-Software [27].

Fitnessstraining

Während der vierwöchigen Supplementationsperiode wurde ein begleitendes Fitnessstraining absolviert. Das Ausmaß des Trainings umfasste 10 Einheiten innerhalb von 4 Wochen. Eine Trainingseinheit erstreckte sich über 60 Minuten mit 20 Minuten moderatem Herz-Kreislauf-Training, 35 Minuten Krafttraining und 5 Minuten kognitivem Training.

Prüfpräparate

Verum: 10 mg NADH (PANMOL NADH micro, stabilisiertes NADH, Rezeptur Nr. 902791/1); Hilfsstoffe: kupferhaltiger Chlorophyllin-Komplex (Farbstoff), Erbsenfasern, mittelkettige Kokos-Triglyceride; Kapselhülle: Rindergelatine (swedish orange) Größe 2.

Placebo: Das wirkstofffreie Placebopräparat (Rezeptur Nr. 902790/1) war optisch nicht vom Verumpräparat zu unterscheiden. Zusammensetzung: kupferhaltiger Chlorophyllin-Komplex (Farbstoff), Erbsenfasern, mittelkettige Kokos-Triglyceride, Kapselhülle: Rindergelatine (swedish orange) Größe 2.

Jeweils 30 Kapseln der Prüfsubstanzen waren in weißen Securiboxen (29 × 55 mm) verpackt und wurden bei Studieneinschluss an die Proband*innen ausgegeben. Die Prüfsubstanzen wurden morgens oral mit ausreichend Flüssigkeit konsumiert. Die erstmalige Einnahme erfolgt am Tag nach der Aufnahme in die Studie. Die Konsumation der Prüfsubstanz wurde die nächsten 30 Tage fortgeführt. Ziel war eine Compliance von mindestens 90% (mindestens 27 von 30 Einnahmetagen).

Tests

Zum Zeitpunkt T1, dem Tag vor der 1. Einnahme der Prüfsubstanz, wurden der physische und psychische Gesundheitszustand über den standardisierten SF-36-Fragebogen erhoben [10]. Die Konzentration und Aufmerksamkeit wurden mittels des D2-R-Konzentrations-tests [7] ermittelt. Mithilfe des Skill Courts, einer digitalen Trainingsanlage mit Scanner-Technologie, wurden die Parameter Reaktion, Konzentration und Motorik bestimmt. Hier wurde als primärer Kennwert die Sprungweite beim Standsprung ermittelt (Motorik, Kraft). Des Weiteren wurde die Zeit gemessen, in der eine Gesamtstrecke von 50 Metern erreicht wurde (50 m random). Dabei mussten die Teilnehmer*innen zusätzlich auf visuelle Reize reagieren und bestimmte Felder erreichen, die ihnen über einen Bildschirm angewiesen wurden (Schnelligkeit, Reaktionszeit, Motorik). Als letzter Parameter wurden die kognitiven Eigenschaften und die Reaktionsfähigkeit der Teilnehmer*innen über

den Shape-Jump-Test überprüft. Es wurde eine Krankheits- und Medikamentenanamnese über den Studienarzt anhand des Studiendokumentationsbogens durchgeführt.

Nach 28 Tagen erfolgte der Abschluss-Check, der erneut eine Abfrage des Gesundheitszustands über den SF-36, die Durchführung des D2-R-Konzentrations- und Aufmerksamkeitstests und die Analyse von Motorik und Reaktionsfähigkeit (über den Skill Court) inkludierte.

Verträglichkeit und Akzeptanz der Prüfsubstanzen

Als zusätzliche Sekundärparameter wurden Verträglichkeit und Akzeptanz der Prüfsubstanzen ermittelt. Dies geschah über ein an die Teilnehmer*innen ausgehändigtes Tagebuch, in dem subjektive Auffälligkeiten und Besonderheiten vermerkt und durch den Studienarzt laufend evaluiert wurden.

Statistik

Aufgrund fehlender vergleichbarer Daten in der Literatur konnte keine Kalkulation der Stichprobengröße erfolgen und die Studie wurde als Pilotprojekt durchgeführt. Als Kollektivgröße wurden 2 × 15 Studienteilnehmer*innen in den Gruppen orales NADH (15 Proband*innen) und Placebo (15 Proband*innen) festgelegt.

Für die Auswertung der Daten wurde das Statistikprogramm IBM SPSS Version 21 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) herangezogen. Die Prüfung der Daten auf Normalverteilung wurde mittels Shapiro-Wilk-Test durchgeführt. Der t-Test für unabhängige Stichproben wurde verwendet, um beide Gruppen vor und nach der Supplementation und Trainingsintervention miteinander zu vergleichen. Der Mann-Whitney-U-Test wurde für all jene Datensätze verwendet, die nicht normalverteilt waren. Das Ausmaß der Unterschiede zwischen den Ergebnissen der beiden Gruppen wird als standardisierte Mittelwertdifferenz (Cohen's-d-Effektstärke) angegeben. Alle statistischen Auswertungen sind zweiseitig und es wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha < 0,05$ angenommen.

Ergebnisse

Studienkollektiv

32 Teilnehmer*innen wurden rekrutiert. Bei 5 Personen kam es zu einem vorzeitigen Studienabbruch. Die Abbruchgründe waren: 1 × Covid-Infektion, 2 × persönlicher Wunsch (Teilnehmer*in ist nicht mehr erschienen), 1 × Ausschluss durch den Prüfer, da falsche Angaben gemacht wurden, 1 × vorgesehene Trainingsprogramm wurde nicht absolviert. Die endgültige Studienpopulation bestand somit aus 27 gesunden Frauen (n = 18) und Männern (n = 9) im Alter zwischen 18 und 65 Jahren. 13 Teilnehmer*innen (9 Frauen, 4 Männer) nahmen die Verumprüfsubstanz ein und 14 Proband*innen (9 Frauen, 5 Männer) erhielten das Placebopräparat. Das durchschnittliche

Alter der NADH-Gruppe betrug $40,31 \pm 10,49$ Jahre und das Alter der Placebogruppe ergab einen Mittelwert von $43,71 \pm 12,96$ Jahre. ► **Tab. 1** zeigt die demografischen Merkmale der Studienkollektivs. Die demografischen Parameter waren normalverteilt und es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Prüfgruppen ($p > 0,05$).

Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistung: D2-R-Test

Die Konzentrationsleistung (KL) setzt sich aus den Kennwerten Fehlerprozent (F%) und der Anzahl der bearbeiteten Zielobjekte (BZO) zusammen ($KL = BZO - \text{Auslassungs- und Verwechslungsfehler}$). F% entspricht der relativen Fehlerhäufigkeit ($F\% = 100 \times [\text{Fehler}/BZO]$). Verglichen wurden die alterskorrigierten Standardwerte (SW) von F%, BZO und KL, die anhand einer Normtabelle ermittelt wurden. ► **Abb. 2** veranschaulicht die Start- und Endwerte der Verum- (NADH) und der Placebogruppe.

Die Fehlerrate F% verbesserte sich in der NADH-Gruppe um 6,43% von $89,62 \pm 4,46$ (Startwert) auf $95,38 \pm 4,61\%$ (Endwert). In der Placebogruppe betrug die Verbesserung 3,17%. Der Startwert war $84,5 \pm 3,93$ und der Endwert ergab $87,18 \pm 3,60$. Der Startwert der BZO in der NADH-Gruppe war $92,54 \pm 3,20$ und stieg innerhalb des Prüfzeitraums auf einen Endwert von $98,92 \pm 3,51$ an. In der Placebogruppe war eine Steigerung der SW von $87 \pm 3,09$ auf $93,29 \pm 3,38$ zu beobachten. Die SW der KL erhöhten sich in der NADH-Gruppe von anfangs $89,38 \pm 3,82$ auf $96,31 \pm 4,11$ und in der Placebogruppe von $83,14 \pm 3,60$ auf $89,14 \pm 3,71$ (► **Abb. 2**). Ein signifikanter Effekt ($p > 0,05$) war nicht zu beobachten.

Skill Court

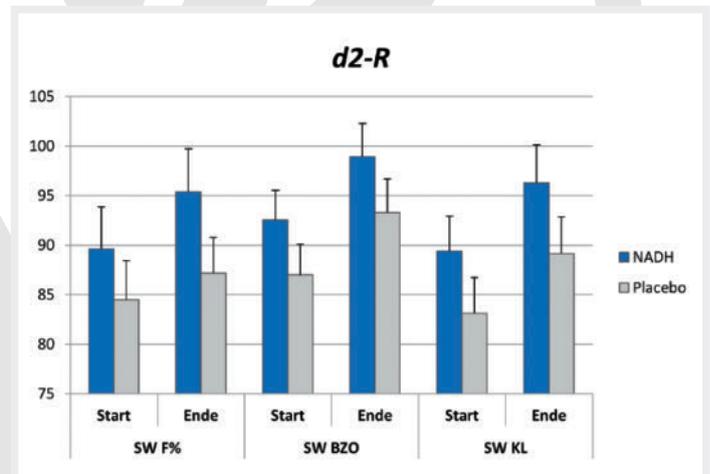
Aufgrund von akuten Verletzungen am Bewegungsapparat mussten 4 der 27 Teilnehmer*innen aus der Wertung der motorischen Tests ausgeschlossen werden. 11 Proband*innen (8 Frauen, 3 Männer) der Verumgruppe wurden folglich mit 12 Teilnehmer*innen (8 Frauen, 4 Männer) der Placebogruppe verglichen. Das durchschnittliche Alter der NADH-Gruppe war $39,91 \pm 11,44$ Jahre ($MW \pm SD$) und das Alter der Placebogruppe betrug im Schnitt $39,5 \pm 9,8$ Jahre ($MW \pm SD$).

Beim 50-m-Random-Lauf sowie beim Standweitsprung zeigten sich keine deutlichen Unterschiede in den Verbesserungen der Werte: Die durchschnittliche Zeit, die beim Startzeitpunkt für die 50 m benötigt wurden, betrug in der NADH-Gruppe $32,37 \pm 1,29$ s und verbesserte sich nach 4 Wochen auf $30,18 \pm 1,59$ s. In der Placebogruppe belief sich die Verbesserung von $32,72 \pm 2,50$ s auf $30,24 \pm 1,40$ s innerhalb des Prüfzeitraums. Beim Standweitsprung wurden in der NADH-Gruppe zunächst Längen von $1,44 \pm 0,10$ m gemessen und 4 Wochen später $1,54 \pm 0,10$ m ($MW \pm SE$). In der Placebogruppe betrugen die Startwerte $1,45 \pm 0,10$ m und die Werte zum Endzeitpunkt $1,54 \pm 0,10$ m.

► **Tab. 1** Alters- und Geschlechtsverteilung beider Prüfgruppen.

	N	MW (Alter)	SD	Range (Min.–Max.)	p-Wert
NADH	13	40,31	10,491	27–61	0,462
Placebo	14	43,71	12,964	24–61	
NADH (w)	9	39,89	9,239	27–57	0,811
NADH (m)	4	41,25	14,523	27–61	
Placebo (w)	9	41,33	15,215	24–61	0,384
Placebo (m)	5	48	6,892	38–55	

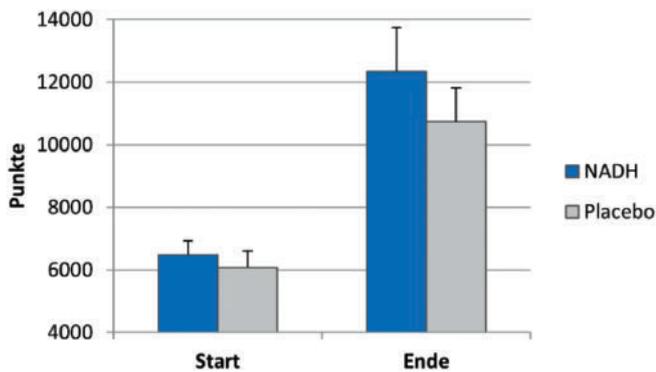
N = Anzahl, m = männlich, w = weiblich, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Min. = Minimum, Max. = Maximum



► **Abb. 2** Ergebnisse des d2-R-Test: Standardwerte (SW) der Fehlerrate (F%), der Schnelligkeit (BZO) und der Konzentrationsleistung (KL) beider Prüfgruppen (NADH- und Placebogruppe) nach Alterskorrektur. Der Prüfzeitraum umfasste 4 Wochen. Die Werte sind als Mittelwert \pm Standardfehler angegeben.

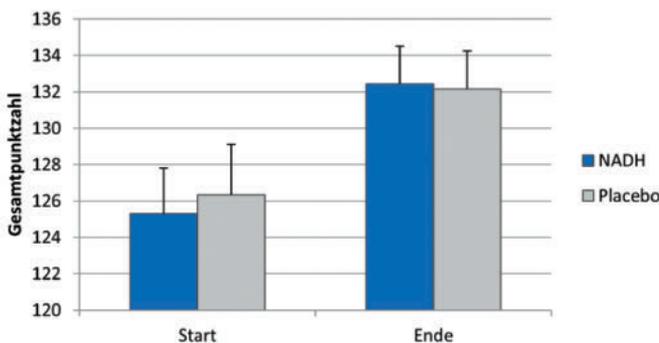
Eine deutliche Verbesserung konnte bei dem Testverfahren „Shape Jump“ beobachtet werden (► **Abb. 3**). In der NADH-Gruppe erreichten die Teilnehmer*innen zum Startzeitpunkt zunächst im Schnitt $6475 \pm 453,18$ Punkte und verbesserten ihre Leistung nach 4 Wochen auf $12347,73 \pm 1289,81$ Punkte, was einer Leistungssteigerung um 90,70% entspricht. In der Placebogruppe konnten sich die Teilnehmer*innen innerhalb der 4 Wochen von anfänglich $6072,92 \pm 528,17$ Punkte um 76,74% auf $10733,33 \pm 1075,43$ Punkte verbessern. Die NADH-Supplementation führte damit zu einer Steigerung der kognitiven Fähigkeiten um 14,4% gegenüber der Placebogruppe.

Shape Jump



► **Abb. 3** Ergebnisse des Shape Jumps beider Prüfgruppen (NADH- und Placebogruppe) zu Beginn und 4 Wochen später zum Endzeitpunkt der Studie.

Gesamtgesundheitszustand



► **Abb. 4** Gesamtgesundheitszustand der NADH- und der Placebogruppe zu Studienbeginn und 4 Wochen später zu Studienende. Anhand des Gesundheitsfragebogens SF-36 wurde der Gesundheitszustand der Proband*innen ermittelt und in numerische intervallskalierte Werte transferiert. In der NADH-Gruppe verbesserte sich der Gesundheitszustand um 5,7% von einem Startwert von $125,3 \pm 2,51$ Punkten (Mittelwert \pm Standardfehler) auf eine Gesamtpunktzahl von $132,45 \pm 2,05$. In der Placebogruppe betrug die anfängliche Punktezahl $126,35 \pm 2,76$ und steigerte sich innerhalb der 4 Wochen um 4,6% auf einen finalen Wert von $132,16 \pm 2,1$.

Gesundheitsbezogene Lebensqualität (SF-36)

Der Gesamtgesundheitszustand verbesserte sich innerhalb der 4 Wochen in beiden Prüfgruppen (► **Abb. 4**). In der NADH-Gruppe verbesserte sich der durchschnittliche Mittelwert \pm Standardfehler (MW \pm SE) von einem Anfangswert von $125,3 \pm 2,51$ auf $132,45 \pm 2,05$ um 5,7%. In der Kontrollgruppe war eine Steigerung von 4,60% von einem Startwert von $126,35 \pm 2,76$ auf die mittlere finale Punktzahl von $132,16 \pm 2,10$ zu beobachten. Diese Verbesserungen der gesundheitlichen Parameter waren durchweg in allen Domänen, sowohl in den körperlichen als auch in den psychischen Sparten, zu beobachten (► **Tab. 2**).

Die einzige signifikante Verbesserung ($p = 0,004$) resultierte aus der Sparte „Allgemeine Gesundheitswahrnehmung“. Mit einem Cohen's-d-Wert von 1,210 und einer Effektstärke von 0,518 (der Effekt hat eine mittlere Stärke) ist die allgemeine Gesundheitswahrnehmung in der NADH-Gruppe signifikant gesteigert gegenüber der Placebogruppe. In der Verumgruppe belief sich der Anfangswert auf $19,37 \pm 1,04$ Punkte und verbesserte sich um 11,84% auf $21,66 \pm 0,88$, wohingegen sich die Punktzahl in der Kontrollgruppe lediglich um 2,17% von einem Startwert von $21,1 \pm 0,75$ auf $21,56 \pm 0,68$ verbesserte. In den 5 weiteren Domänen schnitt die NADH-Gruppe im Vergleich zur Placebogruppe besser ab, jedoch mit geringer Effektstärke.

Verträglichkeit des Prüfpräparats

Alle Proband*innen bewerteten die Prüfsubstanz als gut verträglich. Nach Angaben der Studienteilnehmer*innen traten durch die Einnahme des Prüfpräparats keinerlei unerwünschte Wirkungen auf.

Diskussion

D2-R

Zu den kognitiven Leistungen zählen intellektuelle Fähigkeiten wie Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Denk- und Gedächtnisleistung. Der D2-R-Test ist ein geeignetes Mittel zur Evaluierung der Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit mittels der 3 Sektoren „Fehlerrate“ (F%), „Bearbeitungsgeschwindigkeit“ (BZO) und „Konzentrationsleistung“ (KL).

Eine Leistungssteigerung war in beiden Prüfgruppen in allen 3 Bereichen zu erkennen. Eine mögliche Erklärung hierfür mag der Lerneffekt durch die wiederholte Durchführung sein [23].

Darüber hinaus hat die seit Studienbeginn gesteigerte körperliche Aktivität eine positive Auswirkung auf die kognitive Leistungsfähigkeit. In einer vorangegangenen Publikation war beispielsweise beschrieben, dass Bewegung das Risiko des Abbaus kognitiver Funktionsfähigkeit bei älteren Personen um etwa 25% (undifferenzierte Demenzen), 37% (Demenz vom Alzheimer-Typ) und 46% (leichtes kognitives Defizit) verringern konnte [25]. Aerobe dynamische Arbeit und koordinative Beanspruchung führten zu einem Anstieg der Durchblutung und somit zu einer verbesserten Sauerstoffversorgung des Gehirns, verbunden mit einer Zunahme der Nährstoffbereitstellung der Nervenzellen [19]. Des Weiteren resultiert aus der gesteigerten körperlichen Aktivität eine signifikante Steigerung der neurotrophen Faktoren (BDNF, brain-derived neurotrophic factor), insbesondere im Bereich des Kortex, Cerebellum und des Hippocampus, die bei der Aufrechterhaltung und Wachstum der Axonen von Nervenzellen eine Rolle spielen [40].

Der Vergleich der NADH-Gruppe mit der Placebogruppe ergab, dass sich die Leistungssteigerung vor allem in

► **Tab. 2** Übersicht über die einzelnen Domänen des SF-36. Die Ergebnisse sind in Form von Mittelwert \pm Standardfehler (MW \pm SE) angegeben und beschreiben die Punktzahlen von Start- und Endwerten beider Prüfgruppen (NADH und Placebo). Der Prüfzeitraum umfasste 4 Wochen. Die Differenzen zwischen Start- und Endwerten sind als Delta angegeben. Ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen der NADH- und der Placebogruppe wurde in der Domäne „allgemeine Gesundheitswahrnehmung“ ermittelt (*).

SF-36	Gruppe	MW \pm SE (Start)	MW \pm SE (Ende)	Delta \pm SE	Verbesserung in %	p-Wert ($p < 0,05$)
Gesamtgesundheitszustand	NADH	125,3 \pm 2,51	132,45 \pm 2,05	7,15 \pm 1,55	+ 5,70	0,58
	Placebo	126,35 \pm 2,76	132,16 \pm 2,10	5,81 \pm 1,80	+ 4,60	
körperliche Funktionsfähigkeit	NADH	28,54 \pm 0,48	29,31 \pm 0,26	0,77 \pm 0,26	+ 2,69	0,22
	Placebo	28,57 \pm 0,50	29,04 \pm 0,299	0,46 \pm 0,32	+ 1,63	
körperliche Rollenfunktion	NADH	7,46 \pm 0,31	7,92 \pm 0,08	0,46 \pm 0,31	+ 6,17	0,81
	Placebo	7,43 \pm 0,27	7,64 \pm 0,23	0,21 \pm 0,16	+ 2,83	
körperliche Schmerzen	NADH	10,62 \pm 0,54	11,17 \pm 0,38	0,55 \pm 0,35	+ 5,14	0,42
	Placebo	9,32 \pm 0,65	10,49 \pm 0,46	1,17 \pm 0,56	+ 12,57	
allgemeine Gesundheitswahrnehmung	NADH	19,37 \pm 1,04	21,66 \pm 0,88	2,29 \pm 0,47	+ 11,84	0,004 \uparrow *
	Placebo	21,1 \pm 0,75	21,56 \pm 0,68	0,46 \pm 0,35	+ 2,17	
Vitalität	NADH	15,69 \pm 0,65	18,08 \pm 0,63	2,38 \pm 0,81	+ 15,23	0,35
	Placebo	17,07 \pm 0,84	18,43 \pm 0,94	1,36 \pm 0,72	+ 7,97	
soziale Funktionsfähigkeit	NADH	9,62 \pm 0,21	10 \pm 0,11	0,38 \pm 0,24	+ 3,95	0,30
	Placebo	9 \pm 0,31	9,64 \pm 0,23	0,64 \pm 0,23	+ 7,1	
emotionale Rollenfunktion	NADH	5,77 \pm 0,23	6 \pm 0	0,23 \pm 0,23	+ 3,99	0,35
	Placebo	5,5 \pm 0,29	6 \pm 0	0,5 \pm 0,29	+ 9,09	
psychisches Wohlbefinden	NADH	24,92 \pm 0,75	26 \pm 0,65	1,08 \pm 0,58	+ 4,33	0,50
	Placebo	25,07 \pm 0,80	26,93 \pm 0,57	1,86 \pm 0,95	+ 7,42	
allgemeiner Gesundheitszustand	NADH	3,83 \pm 0,16	4,2 \pm 0,19	0,37 \pm 0,15	+ 9,63	0,37
	Placebo	3,81 \pm 0,21	3,99 \pm 0,21	0,17 \pm 0,16	+ 4,51	
Veränderung Gesundheitszustand	NADH	3,31 \pm 0,16	2,31 \pm 0,21	1 \pm 0,32	+ 30,21	1
	Placebo	3,29 \pm 0,16	2,43 \pm 0,23	0,86 \pm 0,03	+ 26,2	

einer verringerten Fehlerrate F% manifestierte. Die Verbesserung von F% war in der NADH-Gruppe in etwa doppelt so hoch (+ 6,43 %) verglichen zur Placebogruppe (+ 3,17 %). Bei der Bearbeitungsgeschwindigkeit der Zielobjekte (BZO) war kein Unterschied zwischen den beiden Prüfgruppen zu erkennen. Die Konzentrationsleistung, ein Konstrukt aus F% und BZO, ist daher in der NADH-Gruppe nur leicht erhöht verglichen zu jener in der Kontrollgruppe. Der Einfluss des Prüfpräparats auf die Aufmerksamkeit liegt folglich in der Senkung der Fehlerhäufigkeit.

Bereits 2004 untersuchten Yang et al. die Auswirkungen von Nicotinamid, einer Vorstufe von NADH, auf die Lernfähigkeit und die Gedächtnisleistung von Mäusen und fanden heraus, dass eine Verabreichung von Nicotinamid zu einer Senkung der Fehlerhäufigkeit im Tierversuch führte [39]. Auch Rex et al. konnten in Versuchen mit Wistar-Ratten eine Steigerung der Gedächtnisleistung und der Lernfähigkeit durch eine NADH-Supplementation feststellen [31]. Wie bereits erwähnt, scheint eine Supplementation von NADH vor allem in Geweben mit einer hohen Dichte an Mitochondrien wie dem Herzen eine Rolle zu spielen. Auch im Gehirn und ZNS ist die Mitochondriendichte sehr hoch. Die Verabreichung von NADH führt zu einer

verbesserten Mitochondrienaktivität, was eine gesteigerte kognitive Leistung zur Folge hat. In der zugrunde liegenden Studie äußert sich diese erhöhte kognitive Fähigkeit in einer Reduktion der Fehlerhäufigkeit. In einer placebo-kontrollierten und doppelt verblindeten Studie mit 35 Teilnehmer*innen beobachteten auch Birkmayer et al. eine NADH-bedingte signifikante Verbesserung der kognitiven Leistung nach einem Jetlag [2]. Eine kombinierte Verabreichung von NADH mit einem Vitamin-B-Komplex und Spurenelementen führte auch bei geriatrischen Patient*innen zu einer Steigerung der Konzentrationsleistung [33].

Skill Court

Im Skill Court trat in beiden Prüfgruppen eine Verbesserung der Ergebnisse in allen 3 Disziplinen auf. Sowohl in der NADH-Gruppe als auch in der Placebogruppe durchliefen die Teilnehmer*innen den 50m-Random-Lauf in einer kürzeren Zeit und sprangen im Schnitt über 9 cm weiter als zu Studienbeginn. Auch beim Shape Jump erfuhren die Teilnehmer*innen beider Gruppen eine Verbesserung in der Gesamtpunktezahl. Eine signifikante Verbesserung ($p < 0,05$) ergab sich allerdings in keiner der beiden Testgruppen. Mit einem mittleren Alter von 39,90 Jahren (NADH-Gruppe) bzw. 42,75 Jahren (Placebogruppe) ist die

Altersverteilung beider Gruppen zwar ähnlich und daher auch vergleichbar, allerdings waren die Altersunterschiede innerhalb der Gruppen groß und daher waren die motorischen Fähigkeiten zu Beginn der Studie sehr unterschiedlich. Diese inhomogenen Ausgangsbedingungen führten zu einer erhöhten Varianz der Testparameter zum Start- und Endzeitpunkt. Im Mittel ist jedoch eine deutliche Verbesserung der sportlichen Fähigkeiten in den geprüften Bereichen bei beiden Testgruppen zu erkennen. Diese gesteigerte motorische Leistung kann zum einen durch den Trainingseffekt erklärt werden – eine physiologische und morphologische Anpassung des Körpers auf Belastungssituationen.

Ausdauertraining allein führt bereits zu einer Zunahme der Muskel-Citrat-Synthase-Aktivität und zu einer Erhöhung des Gesamtpools an NAD⁺/NADH. In einer kürzlich publizierten Studie von Lamb et al., die den Einfluss eines 10-wöchigen intensiven Ausdauertrainings bei Erwachsenen mittleren Alters untersuchte, wurde festgestellt, dass bei intensivem Training der NAD⁺-Gehalt im Muskel um 127 % und die NADH-Konzentration um 99 % anstiegen [24]. Die mitochondriale Proteinsynthese, die respiratorische Funktion und die Biogenese werden erhöht und zusätzliche Energie kann zur Verfügung gestellt werden. Einige Studien konnten bereits den Effekt eines Fitnesstrainings auf die mitochondriale Funktion bestätigen [11][20][32][38].

Nun stellt sich die Frage, ob die zusätzliche Zufuhr von NADH überdies einen Effekt auf die motorische Leistung zeigt. Sowohl im Weitsprung als auch im 50m-Randlauf verbesserten sich die Teilnehmer*innen beider Gruppen gleichermaßen, und die NADH-Gruppe lieferte keine besseren Resultate. Diese Ergebnisse sind kontrovers zu jenen von Birkmayer und Vank [4], die 1996 einen positiven Effekt einer NADH-Supplementation (5 mg/Tag) auf die sportliche Leistung bei Hochleistungssportlern feststellten. Da bei den Hochleistungssportlern keine Steigerung des endogenen NAD⁺/NADH-Gehalts zu erwarten ist, mag die verbesserte sportliche Leistung sehr wohl auf die NADH-Supplementierung zurückzuführen sein. In der vorliegenden Studie war durch die Verabreichung von NADH kein Einfluss auf die motorische Leistung messbar.

Lediglich der Shape-Jump-Test, ein Test, in dem vor allem die Reaktionsgeschwindigkeit getestet wird, lieferte deutliche Unterschiede in den Resultaten der NADH-Gruppe verglichen zur Placebogruppe. Im Shape-Jump-Test werden weniger die motorischen Eigenschaften gemessen als die Fähigkeit, zügig auf neue Reize zu reagieren. Hier schneiden Teilnehmer*innen der NADH-Gruppe deutlich besser ab als jene der Kontrollgruppe. Da auch hier die Fehlerquote verringert wird, werden die Ergebnisse des D2-R-Tests untermauert und der positive Einfluss von NADH auf die kognitiven Fähigkeiten und auf die Aufmerksamkeit wird bestätigt. Eine mögliche Erklärung auf physiologischer Ebene wäre folgende: Durch die Gabe von NADH

wird das NAD⁺/NADH-Verhältnis zugunsten NADH verschoben. Veränderungen im NAD⁺/NADH-Verhältnis beeinflussen die zellulären Atmungsprozesse in den Mitochondrien und die ATP-Produktion wird gefördert [9][26]. Dadurch steht mehr Energie zur Verfügung, was eine erhöhte Aufmerksamkeit begünstigt.

SF-36

Der Gesamtgesundheitszustand der Teilnehmer*innen verbesserte sich in beiden Prüfgruppen. Dies deutet auf den positiven Effekt sportlicher Aktivität auf die Gesundheit im Allgemeinen hin. Diese Verbesserung war durchweg in allen 8 Unterdomänen zu beobachten.

Bewegung ist ein wirksames Mittel zur Vorbeugung und Behandlung geistiger und körperlicher Erkrankungen. Die Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die psychische und physische Gesundheit wurden in der Wissenschaft bereits umfassend beschrieben [16][34].

Der SF-36-Gesundheitsfragebogen zeigt die Einschätzung des Gesundheitszustands der Teilnehmer*innen an. Bei Betrachtung des Gesamtgesundheitszustands fällt auf, dass die Verumgruppe eine stärkere Verbesserung aufweist als ihr placebosupplementierter Konterpart. Aufgrund der geringen Teilnehmerzahl und der kurzen Dauer der Supplementierungs- und Trainingsintervention ist diese Verbesserung nur gering und eine statistische Signifikanz liegt nicht vor. In der Domäne „allgemeine Gesundheitswahrnehmung“ konnte jedoch eine signifikante Verbesserung der NADH-Gruppe im Vergleich zur Placebogruppe verzeichnet werden. Diese Domäne umfasst die Einschätzung und Entwicklung des eigenen Gesundheitszustands sowie den Vergleich dessen mit dem Gesundheitszustand anderer Personen. Aufgefallen ist, dass sich die NADH-Gruppe vor allem in den physischen Domänen stärker verbesserte: Auch in den Sparten „Vitalität“ und „körperliche Rollenfunktion“ schnitt die NADH-Gruppe besser ab als ihr placebosupplementierter Konterpart. Bei Vitalität handelt es sich um das Empfinden, wie energiegeladene Proband*innen durch den Tag gehen und in welchem Ausmaß Erschöpfung eintritt. Dieses Ergebnis stimmt mit den Erkenntnissen überein, dass eine Supplementierung mit NADH die Therapie von Erschöpfungszuständen unterstützt [12][13]. Bei der Sparte „körperliche Rollenfunktion“ wird erfragt, in welchem Umfang anstrengende Alltagstätigkeiten ausgeübt werden können. Bei dem Einzelitem „Veränderung des Gesundheitszustands“ handelt es sich um einen Vergleich des aktuellen Gesundheitszustands zu jenem von vor einem Jahr. Dabei gilt es zu beachten, dass eine geringere Punktzahl eine stärkere Verbesserung gegenüber dem Vorjahr angibt. Auch hierbei schneidet die Verumgruppe besser ab die Placebogruppe.

Die gegenwärtige Studie liefert somit vorläufige Ergebnisse, dass sich die Wirkung von oralem NADH vor allem in einer Steigerung der kognitiven Leistung sowie in einer

Verbesserung des Gesundheitszustands äußert. Die Studienteilnehmer*innen befanden sich zu Beginn der Studie in einem untrainierten Zustand. Daher muss bei den Ergebnissen berücksichtigt werden, dass der Trainingseffekt, der einen großen Einfluss auf physische, psychische und motorische Eigenschaften hat, möglicherweise den Effekt der NADH-Supplementation überlagert.

Die größte Schwäche der vorliegenden randomisierten Doppelblindstudie liegt in der geringen Anzahl an Teilnehmer*innen und auch in den unterschiedlichen Ausgangssituationen des Studienkollektivs bezüglich Alter und Basisfitnesszustand. Die vorliegenden Ergebnisse sollten in einer Folgestudie mit einem größeren Kollektiv verifiziert werden.

Schlussfolgerung

Mit diesem Projekt sollte der Einfluss einer gesteigerten Fitness mit und ohne NADH-Supplementierung auf das psychische Wohlbefinden, den allgemeinen Gesundheitszustand, die Kognition und die Motorik beurteilt werden. Eine Steigerung der motorischen Fähigkeiten durch die orale Zufuhr von 10 mg NADH/Tag war nicht ersichtlich. Die NADH-Supplementation äußerte sich vor allem in einer Verbesserung des Gesamtgesundheitszustands (allgemeine Gesundheitswahrnehmung) und der Aufmerksamkeit. Die Einnahme von NADH führte zu einer Reduzierung der Fehlerhäufigkeit in diversen Bereichen.

Interessenkonflikt

Dietmar Rösler ist medizinischer Leiter von INUMED.
Norbert Fuchs ist Unternehmens-, Forschungs- und Entwicklungsleiter der Nutropia Group GmbH.

Autorinnen/Autoren



Dr. med. univ. et scient. med. Dietmar Rösler

ist Orthomolekular- und Sportmediziner und Doktor der medizinischen Wissenschaft. Seit 2018 ist er Medizinischer Leiter von Nutropia Pharma und seit 2020 Leiter des Instituts für Nutriologische Medizin INUMED. Seit 2012

forcht und publiziert er bereits zu den Kernthemen Orthomolekulare Medizin und Sportmedizin mit Schwerpunkt Mitochondriale Medizin, Zellstoffwechsel und Immunologie.



Mag. pharm. Norbert Fuchs

ist Pharmazeut und Nährstoffexperte. Seit 1993 ist er Unternehmens-, Forschungs- und Entwicklungsleiter der Nutropia Group GmbH mit Forschungstätigkeit in Orthomolekularer Medizin und Rohstoffentwicklung. Er ist

Inhaber mehrerer Verfahrens- und Anwendungspatente sowie Autor zahlreicher wissenschaftlicher Fachpublikationen.

Korrespondenzadresse

DDr. Dietmar Rösler

Institut für Nutriologische Medizin
Moosham 29
5585 Unternberg
Österreich
E-Mail: office@inumed.com

Literatur

- [1] Birkmayer GD, Grathwohl D, Klann M et al. Stabilized NADH improves the physical and mental performance in highly conditioned athletes. Proceedings of the first International Conference on the Mechanism and Action of Nutraceuticals (ICMAN). Dubrovnik; 2001: 1–3
- [2] Birkmayer GD, Kay GG, Vürre E. Stabilized NADH (ENADA) improves jet lag-induced cognitive performance deficit. Wien Med Wochenschr 2002; 152: 450–454
- [3] Birkmayer JGD, Birkmayer W. The coenzyme nicotinamide adenine dinucleotide (NADH) as biological antidepressive agent: Experience with 205 patients. New Trends Clin Neuropharmacol 1991; 5: 19–25
- [4] Birkmayer JGD, Vank P. Reduced coenzyme 1 (NADH) improves psychomotoric and physical performance in athletes. New York: Menuco Corp.; 1996
- [5] Birkmayer W, Birkmayer GJD, Vrecko K et al. The coenzyme nicotinamide adenine dinucleotide (NADH) improves the disability of Parkinsonian patients. J Neural Transm Park Dis Dement Sect 1989; 1: 297–302
- [6] Brakedal B, Dölle C, Riemer F et al. The NADPARK study: A randomized phase I trial of nicotinamide riboside supplementation in Parkinson's disease. Cell Metab 2022; 34: 396–407
- [7] Brickenkamp R, Schmidt-Atzert L, Liepmann D. Test d2-Revision: Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest. Göttingen: Hogrefe; 2010
- [8] Bugaj O, Kusy K, Kantanista A et al. The effect of a 7-week training period on changes in skin NADH fluorescence in highly trained athletes. Appl Sci 2020; 10: 5133
- [9] Bugaj O, Zieliński J, Kusy K et al. The effect of exercise on the skin content of the reduced form of NAD and its response to transient ischemia and reperfusion in highly trained athletes. Frontiers Physiol 2019; 10: 600
- [10] Bullinger M. German translation and psychometric testing of the SF-36 health survey: Preliminary results from the IQOLA project. Soc Sci Med 1995; 41: 1359–1366
- [11] Busquets-Cortés C, Capó X, Martorell M et al. Training and acute exercise modulates mitochondrial dynamics in football players' blood mononuclear cells. Eur J Appl Physiol 2017; 117: 1977–1987
- [12] Campagnolo N, Johnston S, Collatz A et al. Dietary and nutrition interventions for the therapeutic treatment of chronic fatigue syndrome/myalgic encephalomyelitis: A systematic review. J Hum Nutr Diet 2017; 30: 247–259
- [13] Castro-Marrero J, Sáez-Francas N, Segundo MJ et al. Effect of coenzyme Q10 plus nicotinamide adenine dinucleotide supplementation on maximum heart rate after exercise testing in chronic fatigue syndrome: A randomized, controlled, double-blind trial. Clin Nutr 2016; 35: 826–834
- [14] Demarin V, Podobnik SS, Storga-Tomic D et al. Treatment of Alzheimer's disease with stabilized oral nicotinamide adenine dinucleotide: A randomized, double-blind study. Drugs Exp Clin Res 2004; 30: 27–33

- [15] Demarin V, Sarkanji SP, Storga-Tomic D et al. ENADA/NADH improves cognitive impairment of Alzheimer patients. International conference on mechanisms and actions of neurotraceuticals; 2002: 6–9
- [16] Deslandes A, Moraes H, Ferreira C et al. Exercise and mental health: Many reasons to move. *Neuropsychobiology* 2009; 59: 191–198
- [17] Fuchs N. Mit Nährstoffen heilen: Eine Einführung in die Biochemie der nutriologischen Medizin. 5., überarb. u. erw. Aufl. Köln: Reglin; 2020
- [18] Hargreaves M, Spriet LL. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nat Metab* 2020; 2: 817–828
- [19] Hollmann W, Strüder HK, Tagarakis CVM. Körperliche Aktivität fördert Gehirngesundheit und -leistungsfähigkeit. *Nervenheilkunde* 2003; 22: 467–474
- [20] Holloway GP, Holwerda AM, Miotto PM et al. Age-associated impairments in mitochondrial ADP sensitivity contribute to redox stress in senescent human skeletal muscle. *Cell Rep* 2018; 22: 2837–2848
- [21] Kidd PM. Neurodegeneration from mitochondrial insufficiency: Nutrients, stem cells, growth factors, and prospects for brain rebuilding using integrative management. *Altern Med Rev* 2005; 10: 268–293
- [22] Kuhn W, Müller T, Winkel R et al. Parenteral application of NADH in Parkinson's disease: Clinical improvement partially due to stimulation of endogenous levodopa biosynthesis. *J Neural Transm* 1996; 103: 1187–1193
- [23] Lafontaine MP, Knoth IS, Lippé S. Chapter 20 – Learning abilities. In: Gallagher A, Bulteau C, Cohen D, Michaud JLBTH of CN, eds. *Neurocognitive Development: Normative Development*. Elsevier; 2020: 241–254
- [24] Lamb DA, Moore JH, Mesquita PHC et al. Resistance training increases muscle NAD⁺ and NADH concentrations as well as NAMPT protein levels and global sirtuin activity in middle-aged, overweight, untrained individuals. *Aging (Albany, NY)* 2020; 12: 9447–9460
- [25] Lu G, Li J, Zhang H et al. Role and possible mechanisms of Sirt1 in depression. *Oxid Med Cell Longev* 2018; 8596903
- [26] Mayevsky A, Barbiro-Michaely E. Use of NADH fluorescence to determine mitochondrial function in vivo. *Int J Biochem Cell Biol* 2009; 41: 1977–1988
- [27] MedCalc Software Ltd. MedCalc Statistical Software version 19.2.6. Ostend, Belgium; 2020. Im Internet: <https://www.medcalc.org>; Zugriff am 01.02.2024
- [28] Mero A, Raitanen R, Birkmayer J et al. Effects of nicotinamide adenine dinucleotide hydride on physical and mental performance. *J Sports Sci* 2008; 26: 311–319
- [29] Reimers CD, Knapp G, Tettenborn B. Einfluss körperlicher Aktivität auf die Kognition. Ist körperliche Aktivität Demenzpräventiv? *Akt Neurol* 2012; 39: 276–291
- [30] Rex A, Schickert R, Fink H. Antidepressant-like effect of nicotinamide adenine dinucleotide in the forced swim test in rats. *Pharmacol Biochem Behav* 2004; 77: 303–307
- [31] Rex A, Spychalla M, Fink H. Treatment with reduced nicotinamide adenine dinucleotide (NADH) improves water maze performance in old Wistar rats. *Behav Brain Res* 2004; 154: 149–153
- [32] Robinson MM, Dasari S, Konopka AR et al. Enhanced protein translation underlies improved metabolic and physical adaptations to different exercise training modes in young and old humans. *Cell Metab* 2017; 25: 581–592
- [33] Rösler D, Fuchs N, Markolin G et al. Einfluss einer NADH-haltigen Nährstoffkombination auf Gedächtnis, Konzentration und Grundstimmung. *OM Ernähr* 2008; 125: F20–F25
- [34] Ruegsegger GN, Booth FW. Health benefits of exercise. *Cold Spring Harb Perspect Med* 2018; 8: a029694
- [35] Sibrecht G, Bugaj O, Filberek P et al. Flow-mediated skin fluorescence method for non-invasive measurement of the NADH at 460 nm: A possibility to assess the mitochondrial function. *Postepy Biologii Komorki* 2017; 44: 333–351
- [36] Tang JE, Hartman JW, Phillips SM. Increased muscle oxidative potential following resistance training induced fibre hypertrophy in young men. *Appl Phys Nutr Metabol* 2006; 31: 495–501
- [37] White AT, Schenk S. NAD⁺/NADH and skeletal muscle mitochondrial adaptations to exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2012; 303: E308–E321
- [38] Yan Z, Lira VA, Greene NP. Exercise training-induced regulation of mitochondrial quality. *Exerc Sport Sci Rev* 2012; 40: 159–164
- [39] Yang J, He L, Wang J et al. Early administration of nicotinamide prevents learning and memory impairment in mice induced by 1-methyl-4-phenyl-1, 2, 3, 6-tetrahydropyridine. *Pharmacol Biochem Behav* 2004; 78: 179–183
- [40] Zechner N. Auswirkungen von Bewegung und Sport auf die kognitiven Funktionen bei Kindern und Jugendlichen. Dissertation. Graz: Karl-Franzens-Universität; 2018

Bibliografie

EHK 2024; 73: 82–90

DOI 10.1055/a-2257-6314

ISSN 0014-0082

© 2024. Thieme. All rights reserved.

Karl F. Haug Verlag in MVS Medizinverlage Stuttgart GmbH & Co. KG, Oswald-Hesse-Straße 50, 70469 Stuttgart Germany