Zbl Arbeitsmed 2021 · 71:220–233
<https://doi.org/10.1007/s40664-021-00436-8>
Eingegangen: 20. März 2021
Überarbeitet: 5. Mai 2021
Angenommen: 10. Mai 2021
Online publiziert: 25. Juni 2021
© Der/die Autor(en) 2021

Irina Böckelmann¹ · Robert Pohl¹ · George Awad² · Sabine Darius¹ ·
Jens Wippermann² · Beatrice Thielmann¹ · Maximilian Scherner²

¹ Bereich Arbeitsmedizin, Medizinische Fakultät, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg, Deutschland

² Universitätsklinik für Herz- und Thoraxchirurgie, Universitätsklinikum Magdeburg A.ö.R., Magdeburg, Deutschland

Stressinduzierte vegetative Antwortreaktion des ärztlichen Personals bei herzchirurgischen Eingriffen

Vergleich von Assistenzärzten und Oberärzten in einer Pilotstudie

Hintergrund und Fragestellung

Ärzte sind verschiedenen beruflichen Belastungen ausgesetzt [12, 42], insbesondere überwiegen in ihrem Alltag hochbeanspruchende psychische Belastungen [19, 20, 26]. Chirurgisch tätige Krankenhausärzte sind im Vergleich zu Ärzten anderer Fachrichtungen und zu anderen Berufsgruppen psychosozial hoch belastet [20]. Ein Viertel der chirurgischen Ärzteschaft leidet unter einer beruflichen Gratifikationskrise. Der hohe Verantwortungsdruck, Zeitdruck, Arbeitsverdichtung, unvorhergesehene Ereignisse während eines Operations Eingriffs (z. B. durch Blutungen), tägliche Konfrontationen mit Krankheiten, Tod und Ängsten gehören zum Berufsalltag des Arztberufes [2]. Stress wird auch bei anderen Erwerbstätigen als gesundheitliches Risiko betrachtet [21]. Jedoch stellen bei Ärzten derartige Belastungen ein Zusatzrisiko dar, weil die wahrgenommene Qualität der Patientenversorgung häufig beeinflusst wird [20]. Beim Operieren können die tätigkeitsspezifischen Belastungsfaktoren sich nicht nur auf die psychische Beanspruchung des Chirurgen, sondern auch auf die intraoperative Leistung in Form von Komplikationen auswirken [1].

Die mit den kurzanhaltenden negativen psychischen Belastungsfaktoren assoziierten kurzfristigen negativen Beanspruchungsreaktionen können zuerst nur gesundheitliche Beeinträchtigungen darstellen. Diese werden bei der weiter bestehenden arbeitsbedingten Belastung, wenn ständig eine negative Stressreaktion ausgelöst wird, in nachgewiesener Weise das Risiko für das Auftreten einer koronaren Herzkrankheit [21], Diabetes mellitus [16], Depressionen [34] und Burnout [4, 8, 40, 43] erhöhen. Collins und Karasek beschrieben den Zusammenhang zwischen psychosozialen Anforderungen am Arbeitsplatz sowie berufsbedingten Stressbelastungen und Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems (HKS; [10, 11]). Schuster et al. [32] stellten in ihrer Studie eine Korrelation zwischen der Reduzierung des HRV-Parameters RMSSD (Quadratwurzel des Mittelwerts der Summe aller quadrierten Differenzen zwischen benachbarten RR-Intervallen) und verschiedenen Prognose-Scores für das Auftreten einer koronaren Herzerkrankung bzw. einem Schlaganfall fest. In der Pathogenese einiger dieser Erkrankungen spielen psychobiologische Wirkmechanismen eine Rolle. Für die Aufrechterhaltung der inneren Homöostase in einer Stresssituation sorgen unterschiedliche psycho-

neurophysiologische Vermittlungswege, wie das autonome Nervensystem (ANS), das endokrine und das immunologische System [21] im Sinne der unspezifischen Reiz-Antwort-Reaktion nach Selye [33]. Im arbeitsmedizinischen Belastungs-Beanspruchungskonzept [27] spricht man von einer „Beanspruchung“ als Reaktion auf die psychische Belastung. Bei kurz- und langfristigen Wirkungen finden Veränderungen in den Regulationsmechanismen des ANS statt. Es entsteht eine Dysbalance zwischen sympathischer und parasympathischer Regulation, die sich mit der Herzfrequenzvariabilität (HRV) als Parameter der autonomen Funktion des Herzens und der allgemeinen Aktivierung [23] objektivieren lässt.

Bei akuten Stresssituationen verschiebt sich das sympathovagale Gleichgewicht zugunsten des Sympathikus; dieser stellt sich auf Stress als Antwort nach der Selyes-Theorie [33] und auf die leistungssteigernde Fight-or-flight-Reaktion nach der Cannons-Theorie [9] ein und sorgt dabei für eine kurzzeitige Reaktion des Organismus im Sinne der Ressourcenaktivierung und Leistungserbringung. Diese Reaktionen sind kurzfristige Beanspruchungsfolgen für eine gesunde Anpassungsfähigkeit und klinisch noch nicht relevant. Bei chronischer Stressbelastung bleibt die

sympathische Dominanz („Sympathikus im Dauerstress“) durch anhaltende Alarmreize auch nach der Stresssituation erhalten, und die parasympathische Erholungsreaktion ist unterdrückt. Fortlaufende Adaptationsprozesse bei andauernden Stressbelastungen und eine verzögerte Regeneration nach dem Stress, die als Zeichen von allostatischer Last [25] anzusehen ist, führen zu langfristigen Beanspruchungsfolgen wie kardiovaskulären Erkrankungen und immunologischer Schwäche sowie zu psychischen Beanspruchungsfolgen wie Erschöpfung und Burnout. Obwohl am Anfang der Parasympathikus immer wieder versucht, eine Erholungsreaktion einzuleiten, kommt es jedoch später über die Chronifizierung zur Überlastung des Organismus.

Unter HRV wird eine Vielzahl von Parametern vereint, welche die Rhythmik einer Zeitreihe von aufeinander folgenden Herzaktionen kennzeichnet [28]. Für diese Variationen sind verschiedene physiologische Regelkreise verantwortlich. Die Rolle der Regulationssysteme des Organismus besteht in der Überwachung des Funktionszustandes einzelner Organe und Systeme [5], die sich in Kontrolle, Regulation und Steuerung unterteilen lässt. Die Aktivierung dieser Regulationssysteme steht im Zusammenhang mit dem funktionalen Zustand des Organismus. Die Regelkreise sind bei Gesunden in der Lage, die durch die Stresssituation entstandenen Störungen „zu reparieren“. Unter permanent erhöhten Belastungssituationen nimmt die Variabilität der physiologischen Funktionen ab. Eine geringere HRV ist mit abweichenden Regulationsmechanismen zur Steuerung der Herz-Kreislauf-Homöostase und einer eingeschränkten Adaptationsfähigkeit verbunden. Die Anpassung auf erhöhtem Funktionsniveau ist mit „Kosten“ (Load) für den Organismus verbunden, die nach der Belastung wieder ausgeglichen werden müssen. Nach dem Konzept der Allostase [25] ist eine verzögerte Regeneration nach Stress ein Zeichen von allostatischer Last. Die Kosten kumulieren sich über längere Zeit und verursachen gesundheitsrelevante Veränderungen [15, 41]. Das bedeutet, dass die fortwährenden Adaptationsprozesse physio-

logischer Systeme infolge der andauernden Stressbelastungen pathogene Wirkungen verursachen und zur Überlastung sowie einer manifesten Morbidität führen [24]. Die Bewertung des „allostatic load“ bietet Unterstützung für das Verständnis psychosozialer Determinanten der Gesundheit [15].

Die objektive psychische Belastung im OP-Saal ist schwer zu messen. Über die Erfassung der objektiven Beanspruchungsparameter ist es möglich, Rückschlüsse auf die Arbeitsbelastung zu ziehen. Die HRV hat sich neben dem Blutdruck und der Herzschlagfrequenz (Hf) als objektiver vegetativer Beanspruchungsparameter zur Erfassung psychischer Belastung von Chirurgen etabliert [2, 39]. Ein systematisches Review, in das 17 Studien einbezogen wurden, zeigt, dass die HRV eine gute objektive Methode für die Erkennung von Stress und die Bestimmung der Stressoren während Operationen (OP) ist [22]. Bei Stress steigt die Hf an und die HRV-Parameter weisen geringere Ausprägungen auf [2, 39]. Auch die Art des durchgeführten operativen Eingriffes [7, 14, 18, 38, 44] und die Assistenz eines leitenden Chirurgen [13] hat Einfluss auf das Stressniveau und den Beanspruchungsgrad des Operators. So ist das Stresslevel bei chirurgischen Eingriffen ohne den Einsatz einer Herz-Lungen-Maschine („off-pump“) höher als bei solchen mit Herz-Lungen-Maschine („on-pump“) [6]. Inwieweit das Beanspruchungsniveau während chirurgischer Eingriffe vom Erfahrungswert des Operateurs abhängig ist, wurde bislang kaum untersucht.

Ziel der Pilotstudie ist es, anhand der HRV-Parameter unter Berücksichtigung der abgefragten möglichen Einflussfaktoren die Aktivierung des ANS von Assistenz- und Oberärzten der Herz-Thorax-Chirurgie während aortokoronarer Bypasseingriffe (ACB) als vegetative Antwortreaktion auf die Stresssituation zu erfassen. Zusätzlich soll über diesen Beanspruchungsparameter ein Vergleich der intraoperativen Belastungssituation zur nichtoperativen Tätigkeit bei Herz-Thorax-Chirurgen erfolgen. So soll das Stressniveau bei herzchirurgischen Eingriffen unter Berücksichtigung

der operativen Erfahrung und der Qualifikation des Arztes sowie der Art der Tätigkeit während der OP (Aufgabe als Erstoperateur oder als Assistent) aufgezeigt werden. Die OP-Phasen des ACB-Eingriffes, wie z.B. Hautschnitt und Sternotomie, erfolgen durch den operierenden Assistenzarzt ohne oberärztliche Aufsicht. Während der LIMA-Präparation entnimmt ein weiterer Assistenzarzt die Vena saphena magna aus dem Bein des Patienten und bereitet diese für die später folgenden (distalen und proximalen) Anastomosen vor. Bei den OP-Phasen wie z.B. Kanülierung, Start einer Herz-Lungen-Maschine, Abklemmen der Aorta, distale Anastomosen, Entklemmen der Aorta, proximale Anastomosen, Dekanülierung und Blutstillung ist der Oberarzt anwesend, und diese Operationsschritte erfolgen durch den operierenden Assistenzarzt unter dessen Aufsicht. Hypothetisch gingen wir davon aus, dass die weniger erfahrenen AÄ während der OP mehr Stress erleben und somit eine verringerte HRV aufweisen als die OÄ. Die Erkenntnisse aus der Studie sollen als Grundlage zur Ableitung der individuumsspezifischen Präventionsmaßnahmen dienen.

Studiendesign und Untersuchungsmethoden

Im Rahmen dieser Querschnittsstudie wurde die objektive Beanspruchung von chirurgisch tätigen Assistenz- und Oberärzten während ACB-OPs unter Nutzung einer Herz-Lungen-Maschine als Lehreingriff im Vergleich zur Nicht-OP-Phase (nichtoperativer Tätigkeit auf der Station) untersucht. Unter für den Weiterbildungskatalog erforderlichen Lehreingriffen wurde eine Operation definiert, bei der der Assistenzarzt (AA) operiert und der anwesende Oberarzt (OA) assistiert und berät. Zu der nichtoperativen Tätigkeit gehören Visite, Gespräche mit den Angehörigen, Dokumentation und Diktieren der Arztbriefe.

In einem Erhebungszeitraum von 8 Monaten (vom 24.07.2019 bis 27.02.2020) wurden 31 EKG-Aufnahmen vom ärztlichen OP-Personal bei insgesamt 25 OPs an verschiedenen Tagen durchgeführt, die als Grundlage für

Zbl Arbeitsmed 2021 · 71:220–233 <https://doi.org/10.1007/s40664-021-00436-8>
© Der/die Autor(en) 2021

I. Böckelmann · R. Pohl · G. Awad · S. Darius · J. Wippermann · B. Thielmann · M. Scherner

Stressinduzierte vegetative Antwortreaktion des ärztlichen Personals bei herzchirurgischen Eingriffen. Vergleich von Assistenzärzten und Oberärzten in einer Pilotstudie

Zusammenfassung

Hintergrund. Chirurgen erleben in ihrem Arbeitsalltag eine hohe psychische Belastung. Die Herzfrequenzvariabilität (HRV) ist als vegetativer Beanspruchungsparameter zur Erfassung von psychischen Belastungen etabliert. Eine geringe HRV ist ein Indikator für hohen Stress.

Ziel der Arbeit. Ziel der Querschnittsstudie war es, die Aktivierung des autonomen Nervensystems als stressinduzierte Antwortreaktion und das Stressniveau bei chirurgisch tätigen Ärzten verschiedener Qualifikationsstufen während ihrer Tätigkeit anhand der HRV zu untersuchen.

Material und Methoden. Es wurde die HRV aus 31 EKG-Aufnahmen von 5 freiwilligen, klinisch gesunden männlichen Herzchirurgen während 25 aortokoronarer Bypassoperationen (ACB-OP) und der Stationsarbeit analysiert. Als Einschlusskriterium galt die Tätigkeit als Assistenzarzt bzw. Oberarzt, die berechtigt sind, herzchirurgische Eingriffe durchzuführen. Relevante Medikamente

und Vorerkrankungen, die den Herzrhythmus beeinflussen und die Häufigkeit von Extrasystolen im EKG ($> 1\%$) waren Ausschlusskriterien. Die Tätigkeit während der Operation und Nicht-Operationsphase wurde schriftlich dokumentiert. Bei der statistischen Auswertung kamen der Mann-Whitney-U-Test und das Allgemeine Lineare Modell mit der Anpassung nach Bonferroni unter Berücksichtigung der ärztlichen Funktion und der Art der Tätigkeit während der Operation als Kovariaten zur Anwendung.

Ergebnisse. Eine reduzierte HRV während der ACB-OP fand sich bei den zeitbezogenen Parametern RMSSD (Root Mean Square of Successive Differences) und pNN50 (Prozentsatz der NN-Intervalle mit mindestens 50 ms Abweichung vom vorausgehenden NN-Intervall), dem frequenzbezogenen Parameter LF (Low Frequency) power sowie dem nichtlinearen Kurzzeitvariabilitätsparameter SD1 (Standard Deviation oder die Breite der Punktwolke) für Assistenzärzte im Vergleich

zu den Oberärzten. 50,8 % der Arbeitszeit war im OP für die Assistenzärzte als hohe Stresssituation gekennzeichnet (Oberärzte: 11,7 %; $p = 0,015$). Die Beanspruchungsreaktion bei der Stationsarbeit zeigte sich als deutlich geringer ausgeprägt, wobei diese in beiden Gruppen vergleichbar war.

Diskussion. Es zeigt sich eine höhere stressinduzierte Antwortreaktion während der ACB-OP bei Assistenzärzten im Vergleich zu Oberärzten. Es sollten frühzeitig präventive und gesundheitsfördernde Maßnahmen bei hoher arbeitsbezogener Stressbelastung bei chirurgisch tätigen Ärzten insbesondere in der Facharzt-Weiterbildungsphase eingeleitet werden.

Schlüsselwörter

Psychische Belastung · Allostatische Last · Beanspruchung · Operateur · Herzfrequenzvariabilität

Stress-induced vegetative response of medical personnel during cardiac surgery. Comparison of assistant physicians and senior physicians in a pilot study

Abstract

Background. Surgeons have high levels of work-related mental stress. Heart rate variability (HRV) has been established as a vegetative parameter for the objective identification of workload. A lower HRV is an indicator of high stress.

Objective. The aim of this cross-sectional study was to investigate the activation of the autonomic nervous system and the stress level of surgeons with different qualification grades during their work using HRV. Individual-specific prevention strategies are to be defined.

Material and methods. The HRV from 31 ECG of 5 surgeons during 25 coronary artery bypass graft (CABG) operations and nonsurgical activities (e.g. station work) were analyzed. The inclusion criterion was a resident or senior physician authorized to practice cardiac

surgery. Regular use of relevant medications and previous diseases affecting the heart rhythm and the frequency of extrasystoles in the ECG ($> 1\%$) were exclusion criteria. Activity during surgery and nonsurgical phase were documented. Statistical analysis used Mann-Whitney U tests and the general linear model with Bonferroni's adjustment considering physician function and type of activity during surgery as covariates.

Results. Reduced HRV during surgery was found for the time domain parameters root mean square of successive differences (RMSSD) and percentage of NN intervals with at least 50 ms deviation from the preceding NN interval (pNN50), the frequency domain parameter low frequency (LF) power, and the nonlinear short-term variability parameter standard deviation or the width of the point

cloud (SD1) for residents compared to senior physicians. 50.8% of the working CABG operating time for the assistant physicians was characterized as a high stress situation (senior surgeons 11.7%; $p = 0.015$). The stress reaction during station work was shown to be significantly less prominent, although this was comparable in both groups.

Conclusion. A higher stress reaction during CABG operations was shown for the residents compared to senior surgeons, whereby the residents were more stressed. Early preventive and health-promoting measures should be initiated to avoid a high work-related stress for surgeons, especially in the residency phase.

Keywords

Mental stress · Allostatic load · Load · Surgeons · Heart rate variability

die HRV-Analyse dienten, um über die HRV Rückschlüsse auf stattgefundene psychische Belastungen zu ziehen. Die intraoperativen Zeiten und die Arbeitstätigkeiten wurden mittels eines vorab erstellten OP-Protokolls minutiös von einem Mitarbeiter aus dem Forschungsteam dokumentiert. In der Nicht-OP-Phase führte der Proband selber die Protokollierung seiner Arbeitstätigkeiten durch. Die Dauer der analysierten, zu vergleichenden Arbeitsphasen (OP-Phase: Arbeitszeit vom Anfang des Anschließens an die Herz-Lungen-Maschine bis zur Entwöhnung aus dem kardiopulmonalen Bypass vs. Nicht-OP-Phase: Arbeitszeit außerhalb des OP-Bereichs) lag jeweils bei 180 min. Die Nicht-OP-Phasen wurden als Vergleichsphasen herangezogen, in denen beide Probandengruppen tätig waren (z. B. Visite/Wundkontrolle/Ambulanz).

Das positive Votum der Ethikkommission (Registrierungsnummer 2020/185/19) liegt vor.

Bei den klinisch gesunden, männlichen Chirurgen handelte es sich um zwei Assistenzärzte (AÄ) aus der Altersgruppe 30–35 Jahre und 3 Oberärzte (OÄ) aus der Altersgruppe 35–45 Jahre, die sich freiwillig als Probanden zur Verfügung gestellt haben. Der Body-Mass-Index (BMI) unterteilte sich innerhalb der Stichprobe in Personen mit Normalgewicht (1 AA mit einem BMI von $21,7 \text{ kg/m}^2$ und 2 OÄ mit einem BMI von $24,9 \text{ kg/m}^2$ und $21,7 \text{ kg/m}^2$) und Übergewicht (1 AA mit einem BMI von $29,7 \text{ kg/m}^2$ und ein OA mit $27,4 \text{ kg/m}^2$). Die AÄ waren jeweils Nichtraucher, wohingegen die Gruppe der OÄ einen Raucher aufwies. Die sportlichen Freizeitaktivitäten der Probanden (Laufen, Radfahren, Fitnesstraining) beliefen sich nach eigenen Angaben auf 1- bis 2-mal/Woche (1 AÄ, 3 OÄ) und 3- bis 5-mal/Woche (1 AÄ).

Zur Ermittlung dieser Phasen, unter Berücksichtigung der zirkadianen Rhythmik, wurden detaillierte Zeitprotokolle des gesamten Arbeitstages der Probanden verwendet. Die Teilnehmer füllten den Fragebogen MIGA-Heart-Study zur Erhebung von möglichen Einflussfaktoren wie z. B. Alter, Geschlecht, Medikamente, Erkrankungen, Sportak-

tivität, Alkohol- und Zigarettenkonsum (in Anlehnung der AWMF-S2k-Leitlinie [28]) auf die HRV aus. Als Einschlusskriterium galt die Tätigkeit als Oberarzt bzw. Assistenzarzt, die berechtigt sind, herzchirurgische Eingriffe durchzuführen. Eine regelmäßige Einnahme von Medikamenten, wie z. B. β -Blocker, relevante Vorerkrankungen (wie Diabetes mellitus oder arterielle Hypertonie) sowie die Häufigkeit von Extrasystolen im EKG (mehr als 1 % aller Herzaktionen), gehörten zu den Ausschlusskriterien dieser Studie [6]. Dies traf bei keinem der Studienteilnehmer zu. Die Probanden waren nicht mit Vorerkrankungen belastet sowie keiner regelmäßigen Einnahme von Medikamenten ausgesetzt.

Die Assistenzärzte befanden sich seit 2013 in herzchirurgischer Ausbildung und waren in dieser Zeit überwiegend operativ tätig. Die Oberärzte waren ebenfalls regelmäßig an der chirurgischen Ausbildung in Form als Anleiter beteiligt. Die Anzahl der durchgeführten ACB-OPs der Assistenzärzte lag zum Start der Studie bei 10 OPs (vs. 400–500 OPs bei den OÄ). Die Oberärzte haben im Durchschnitt doppelt so lange Erfahrungszeiten im herzchirurgisch operativen Tätigkeitsbereich.

Insgesamt 31 EKG-Aufnahmen (24 von AÄ; 7 von OÄ) wurden mittels eines 2-Kanal-EKG-Geräts (Modell MT-101, Schiller AG, Schweiz) aufgezeichnet und dienten als Grundlage für die HRV-Analyse, bei deren Durchführung und der Auswahl der HRV-Parameter auf die in den internationalen und nationalen Leitlinien aufgestellten Qualitätskriterien geachtet wurde [28, 36]. Die Datenreihen aus den mit einer Abtastfrequenz von 1000 Hz aufgenommenen NN-Intervallen wurden in die Software Medilog DARWIN (Schiller AG, Schweiz) übertragen. Diese Datenreihe wurde für die anschließende HRV-Analyse in das Programm Kubios HRV Premium (Kubios, Kuopio, Finnland; [35]) exportiert, dabei erfolgte eine Artefaktkorrektur mit den Einstellungen 0,3 und „custom“ ohne Veränderung der „trend components“. Dabei wurden HRV-Parameter im Zeit- und Frequenzbereich (mit der Fast-Fourier-Transformation [FFT] mit einer Einstellung der Fensterbreite vom Zeitraum

des Analyse-Bereichs und 50 % „window overlap“) und mit nichtlinearen Methoden berechnet [28, 35]. Die Beschreibung der HRV-Parameter ist in der **Tab. 1** dargestellt. Zusätzlich zu den üblichen HRV-Parametern wurden die Parameter der Aktivität des autonomen Nervensystems (Stressindex, PNS-Index und SNS-Index) in die Auswertung einbezogen. Der Stressindex reflektiert die Aktivität der sympathischen oder zentralen Regulation. Dieser reagiert sensibel auf emotionalen, mentalen und körperlichen Stress ([3]; **Tab. 1**).

Zusätzlich wurden die Probanden gebeten, die standardisierten Fragebögen zur Erfassung von arbeitsbezogenen Verhaltens- und Erlebensmustern (AVEM; [31]) und den Differential Stress Inventory Fragebogen (DSI) zur Bestimmung des Stresserlebnistyps [22] zu beantworten, damit man diese persönlichen Merkmale später in die Interpretation der physiologischen Daten einbeziehen kann.

Aus dem AVEM [31] kann man Aussagen über gesundheitsförderliche bzw. -gefährdende Verhaltens- und Erlebensweisen bei der Bewältigung von Arbeits- und Berufsansforderungen treffen. Die 11 Dimensionen des Fragebogens (Bedeutsamkeit der Arbeit, beruflicher Ehrgeiz, Verausgabungsbereitschaft, Perfektionsstreben, Distanzierungsfähigkeit, Resignationstendenz, offensive Problembewältigung, innere Ruhe/Ausgeglichenheit, Erfolgserleben im Beruf, Lebenszufriedenheit und Erleben sozialer Unterstützung) können drei inhaltlichen Bereichen zugeordnet werden: dem beruflichen Engagement, den Emotionen, die den Berufsalltag begleiten, und der Widerstandskraft gegenüber beruflichen Belastungen. Daraus resultieren vier verschiedene Bewältigungsmuster. Die Muster A und B gelten hier als Indikatoren für Gesundheitsgefährdungen, wohingegen die Ausprägung von Muster G auf gesundheitsförderliches Verhalten und Erleben hinweist. Muster S bezieht sich auf motivationale Aspekte.

Das DSI [22] dient der Ermittlung des Ausmaßes und auch den Ursachen von individuellem Stresserlebnis, dabei werden 4 Bereiche erfasst: Auslöser, Manifestationen, Coping-Strategien und Stabili-

Tab. 1 Erläuterung der genutzten HRV-Parameter

HRV-Parameter	Erklärung	Aktivität als Teil des ANS
<i>Zeitbezogene Parameter</i>		
Mean HR (1/min)	Herzschlagfrequenz	Sympathikus und Parasympathikus
Mean NN (ms)	Abstand zwischen zwei R-Zacken oder NN-Intervalle	Keine klare Zuordnung
SDNN (ms)	Standardabweichung der NN-Intervalle im Messzeitbereich	Sympathikus und Parasympathikus
RMSSD (ms)	Quadratwurzel des Mittelwerts der Summe aller quadrierten Differenzen zwischen benachbarten RR-Intervallen	Parasympathikus
NN50 bzw. pNN50 (%)	Anzahl bzw. Prozentsatz aufeinanderfolgender NN-Intervalle, die mehr als 50 ms voneinander abweichen	Parasympathikus
<i>Frequenzbezogene Parameter</i>		
Total Power (TP) (ms ²)	Leistung im Gesamtspektrum im Bereich 0–0,40 Hz	Keine klare Zuordnung
VLF_po (ms ²) bzw. VLF_po% (%)	Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich bis 0,15 Hz (Periodendauer von 25 s bis 5:30 min) bzw. prozentualer VLF-Anteil am Gesamtspektrum; die thermoregulationsbedingte Schwankungen, hormonelle Rhythmen	Sympathikus
LF_po (ms ²) bzw. LF_po% (%)	Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,04 bis 0,15 Hz (Periodendauer von 7 bis 25 s) bzw. prozentualer LF-Anteil am Gesamtspektrum; die blutdruckbedingte Oszillationen	Sympathikus und Parasympathikus
HF_po (ms ²) bzw. HF_po% (%)	Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,15–0,40 Hz (Periodendauer 2,5–7 s) bzw. prozentualer HF-Anteil am Gesamtspektrum; die atmungsbedingte Schwankungen	Parasympathikus
LF nu	LF normalized unit: entspricht $LF/(TP-VLF) \times 100$	Sympathikus und Parasympathikus
HF nu	HF „normalized unit“: entspricht $HF/(TP-VLF) \times 100$	Parasympathikus
LF/HF	Maß der sympathovagalen Balance als Quotient aus LF und HF	Sympathikus und Parasympathikus
<i>Nichtlineare Parameter</i>		
SD1 (ms)	Standardabweichung der Punktabstände zum Querdurchmesser	Parasympathikus
SD2 (ms)	Standardabweichung der Punktabstände zum Längsdurchmesser	Sympathikus und Parasympathikus
DFA_a1	Kurzfristige Fluktuationsneigung in der detrended Fluktuationsanalyse	Keine klare Zuordnung
DFA_a2	Langfristige Fluktuationsneigung in der detrended Fluktuationsanalyse	Keine klare Zuordnung
<i>Parameter der ANS-Aktivität</i>		
Stressindex	Der Stressindex ist die Quadratwurzel (um den Index normalverteilt zu machen) des Baevsky-Belastungsindex, bei dem Werte zwischen 150–500 als Normbereich gelten (12,2–22,4 bei Anwendung der Quadratwurzel)	Sympathikus
PNS-Index	Aktivität des parasympathischen Nervensystems (PNS) beschrieben durch die Mittelwerte von RR, RMSSD und SD1(%)	Parasympathikus
SNS-Index	Aktivität des sympathischen Nervensystems (SNS) beschrieben durch die Mittelwerte von Mean HR, Stress Index und SD2(%)	Sympathikus

sierung und 4 DSI-Typen (Normaltyp, überbeansprucht, stressresistent, niedrige Beanspruchung – erfolgreiches Coping, hohe Beanspruchung – erfolgreiches Coping).

Zur statistischen Auswertung der Daten wurde SPSS Statistics 26 (IBM, USA) genutzt. Die Überprüfung der intervallskalierten Daten auf Normalverteilung erfolgte mit dem Shapiro-Wilk-Test. Da bei den HRV-Parametern nur vereinzelt

eine Normalverteilung vorlag, wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Außerdem wurden die Differenzwerte (Δ) zwischen den Werten während der OP und den Werten aus der nichtoperativen Tätigkeit gebildet. Die weitere Auswertung erfolgte in dem Allgemeinen Linearen Modell (ALM) unter Berücksichtigung der ärztlichen Funktion (OÄ oder AÄ) und der Art der Tätigkeit während der OP (Aufgabe als Erstoperateur oder

als Assistent) als Kovariaten. Bei paarweisen Mehrfachvergleichen im ALM wurde die Anpassung nach Bonferroni vorgenommen. Die Testentscheidungen basieren auf einem Signifikanzniveau von 5 %.

Ergebnisse

Zur Prüfung der oben aufgestellten Arbeitshypothese, ob die weniger erfahrenen AÄ während der OP mehr Stress

Tab. 2 Vergleich der zeitbezogenen HRV-Parameter während der beiden Arbeitsphasen (OP- und Nicht-OP-Phase) zwischen Assistenzärzten ($n = 24$ Datensätze) und Oberärzten ($n = 7$ Datensätze)

Parameter	AÄ	OÄ	Mann-Whitney-U	ALM Test der Zwischensubjekteffekte						
	MW $\pm$ SD (95 % KI)	MW $\pm$ SD (95 % KI)		Korrigiertes Modell		OP-Aufgaben		Ärztliche Funktion		
			p -Wert	R^2	p -Wert	η^2	p -Wert	η^2	p -Wert	η^2
<i>OP-Phase</i>										
Mean NN (ms)	675,9 $\pm$ 55,57 (649,0–703,9)	718,9 $\pm$ 32,27 (647,5–786,6)	0,054	0,051	0,182	0,115	0,949	0,000	0,343	0,032
SDNN (ms)	39,9 $\pm$ 12,52 (34,4–46,7)	48,3 $\pm$ 7,06 (30,3–61,5)	0,139	0,029	0,251	0,094	0,707	0,005	0,574	0,011
Mean HR (1/min)	89,3 $\pm$ 7,44 (85,6–92,9)	83,6 $\pm$ 3,71 (74,8–93,2)	0,054	0,053	0,176	0,117	0,923	0,000	0,352	0,031
RMSSD (ms)	21,4 $\pm$ 6,70 (14,1–32,6)	41,3 $\pm$ 36,37 (11,3–58,2)	0,012	0,151	0,038	0,208	0,484	0,018	0,429	0,022
NN50	899,2 $\pm$ 823,78 (663,6–1437,8)	905,9 $\pm$ 353,11 (–594,3–1367,4)	0,595	–0,007	0,420	0,060	0,192	0,060	0,273	0,043
pNN50 (%)	3,7 $\pm$ 3,45 (3,2–6,4)	6,8 $\pm$ 2,69 (–1,2–6,8)	0,038	0,249	0,007	0,299	0,018	0,183	0,412	0,024
<i>Nicht-OP-Phase</i>										
Mean NN (ms)	794,8 $\pm$ 101,96 (723,6–826,6)	780,5 $\pm$ 91,02 (717,4–978,5)	0,945	–0,006	0,415	0,061	0,203	0,057	0,365	0,029
SDNN (ms)	43,1 $\pm$ 7,75 (39,0–48,8)	50,0 $\pm$ 13,43 (34,8–59,5)	0,139	0,043	0,207	0,107	0,566	0,012	0,665	0,007
Mean HR (1/min)	76,7 $\pm$ 9,64 (73,6–83,4)	77,7 $\pm$ 8,74 (59,1–83,8)	0,945	–0,010	0,436	0,058	0,211	0,055	0,355	0,031
RMSSD (ms)	33,8 $\pm$ 6,53 (28,8–39,0)	38,5 $\pm$ 16,90 (25,2–51,1)	0,595	–0,025	0,541	0,043	0,943	0,000	0,595	0,010
NN50	2076,3 $\pm$ 1065,46 (1522,9–2605,7)	1630,3 $\pm$ 813,46 (299,8–3043,4)	0,417	–0,034	0,609	0,035	0,940	0,000	0,640	0,008
pNN50 (%)	10,3 $\pm$ 4,46 (7,2–13,6)	14,3 $\pm$ 9,97 (5,8–22,1)	0,341	0,010	0,333	0,076	0,914	0,000	0,480	0,018
<i>Differenzwerte Δ (OP-Phase – Nicht-OP-Arbeitsphase)</i>										
Δ Mean NN (ms)	–118,8 $\pm$ 75,1 (–139,0–58,3)	–61,7 $\pm$ 95,5 (–233,1–28,7)	0,054	0,115	0,069	0,174	0,098	0,095	0,607	0,010
Δ SDNN (ms)	–3,2 $\pm$ 12,91 (–10,0–3,4)	–1,7 $\pm$ 11,44 (–18,2–15,8)	0,274	–0,069	0,963	0,003	0,942	0,000	0,840	0,001
Δ Mean HR (1/min)	12,7 $\pm$ 6,75 (7,1–14,4)	5,9 $\pm$ 9,02 (3,2–21,8)	0,026	0,175	0,026	0,230	0,081	0,105	0,755	0,004
Δ RMSSD (ms)	–12,4 $\pm$ 6,43 (–16,5–4,6)	2,8 $\pm$ 21,85 (–18,5–11,8)	0,008	0,223	0,011	0,275	0,309	0,037	0,441	0,021
Δ NN50	–1177,1 $\pm$ 744,08 (–1403,6–623,6)	–724,4 $\pm$ 818,43 (–2273,3–296,7)	0,295	0,064	0,151	0,126	0,163	0,068	0,654	0,007
Δ pNN50 (%)	–6,7 $\pm$ 4,32 (–8,5–2,7)	–7,5 $\pm$ 9,19 (–18,6–3,7)	0,908	–0,012	0,450	0,055	0,228	0,051	0,229	0,051

AÄ Assistenzärzte, OÄ Oberärzte, MW Mittelwert, SD Standardabweichung, ALM Allgemeines lineares Modell, KI Konfidenzintervall

erleben und somit eine reduzierte HRV aufweisen gegenüber den OÄ, wurden die HRV-Parameter beider Gruppen verglichen. Neben einer höheren Mean HR während der OP-Phase wiesen die zeitbezogenen HRV-Parameter RMSSD und pNN50 auf eine signifikant reduzierte HRV der Assistenzärzte im Vergleich zu den Oberärzten hin (Tab. 2). In der nachfolgenden ALM-Analyse wurde in

dem korrigierten Modell das Ergebnis reduzierter RMSSD und pNN50 bestätigt ($p = 0,038$, $\eta^2 = 0,208$ und $p = 0,007$, $\eta^2 = 0,299$). Vergleicht man diese HRV-Parameter der beiden Probandengruppen bei der nichtoperativen Tätigkeit in der Klinik, zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Die Beanspruchungslage war in beiden Arztgruppen, trotz verschiedener ärztlicher Funktion, ver-

gleichbar. Die unterschiedlichen interindividuellen Auslenkungen der Herzschlagfrequenz und der zeitbezogenen HRV-Parameter in den beiden Gruppen konnten nur für Δ Mean HR und Δ RMSSD statistisch bestätigt werden; hier fiel eine signifikant höhere Antwortreaktion auf die Belastungssituation im OP-Bereich bei Assistenzärzten auf. Das wurde auch in dem korrigierten Modell mit

Tab. 3 Vergleich der frequenzbezogenen HRV-Parameter aus der FFT-Analyse während der beiden Arbeitsphasen (OP- und Nicht-OP-Phase) zwischen Assistenzärzten ($n = 24$ Datensätze) und Oberärzten ($n = 7$ Datensätze)

Parameter	ÄÄ	OÄ	Mann-Whitney-U	ALM	Test der Zwischensubjekteffekte				Ärztliche Funktion			
	MW ± SD (95 % KI)	MW ± SD (95 % KI)	p-Wert	R ²	Korrigiertes Modell	p-Wert	η ²	OP-Aufgaben	p-Wert	η ²	p-Wert	η ²
OP-Phase												
VLF_po (ms ²)	523,25 ± 916,88 (6,4–867,8)	154,28 ± 54,16 (641,7–1541,1)	0,234	–0,015	0,470	0,053	0,016	0,500	0,985	0,000		
LF_po (ms ²)	1075,04 ± 547,36 (823,8–1455,7)	1978,18 ± 766,95 (955,8–2556,8)	0,014	0,261	0,006	0,310	0,017	0,490	0,214	0,055		
HF_po (ms ²)	183,51 ± 128,32 (156,2–276,1)	244,79 ± 77,22 (–19,1–284,7)	0,199	0,091	0,100	0,152	0,110	0,073	0,372	0,029		
Total_po (ms ²)	1782,66 ± 986,66 (1285,1–2303,2)	2377,82 ± 836,92 (1048,6–3628,3)	0,216	0,001	0,376	0,068	0,000	0,939	0,492	0,017		
VLF_po% (%)	20,38 ± 26,55 (5,1–30,0)	6,87 ± 2,72 (–14,8–48,3)	0,274	0,012	0,321	0,078	0,022	0,437	0,968	0,000		
LF_po% (%)	68,43 ± 22,43 (59,2–80,5)	82,47 ± 5,02 (50,8–104,7)	0,094	0,025	0,268	0,090	0,007	0,622	0,631	0,008		
HF_po% (%)	11,14 ± 5,24 (10,2–15,1)	10,64 ± 2,90 (–0,5–11,6)	0,627	0,079	0,121	0,140	0,138	0,043	0,064	0,117		
LF_po_nu	86,46 ± 3,74 (83,4–86,9)	88,49 ± 3,33 (88,6–97,5)	0,234	0,182	0,023	0,236	0,193	0,015	0,007	0,236		
HF_po_nu	13,48 ± 3,72 (13,0–16,5)	11,47 ± 3,33 (2,6–11,4)	0,234	0,179	0,024	0,234	0,190	0,016	0,007	0,233		
LF/HF	7,0 ± 2,20 (5,3–7,5)	8,3 ± 2,43 (7,3–13,1)	0,234	0,086	0,108	0,147	0,089	0,190	0,039	0,144		
Nicht-OP-Phase												
VLF_po (ms ²)	159,32 ± 67,32 (106,4–187,8)	194,04 ± 109,45 (132,9–339,0)	0,444	0,004	0,358	0,071	0,313	0,036	0,165	0,068		
LF_po (ms ²)	1351,65 ± 568,94 (1042,3–1808,6)	2141,93 ± 1144,02 (918,1–2859,9)	0,048	0,136	0,094	0,194	0,015	0,516	0,437	0,022		
HF_po (ms ²)	380,86 ± 187,49 (205,2–562,2)	632,33 ± 640,65 (170,2–1075,0)	0,391	0,030	0,247	0,095	0,000	0,957	0,391	0,026		
Total_po (ms ²)	1892,95 ± 752,12 (1384,4–2530,6)	2969,08 ± 1865,02 (1295,5–4200,0)	0,115	0,101	0,086	0,161	0,005	0,703	0,377	0,028		
VLF_po% (%)	9,11 ± 3,49 (6,6–9,8)	7,13 ± 2,30 (6,1–14,4)	0,167	0,111	0,073	0,170	0,114	0,069	0,423	0,023		
LF_po% (%)	70,98 ± 5,60 (69,4–75,1)	74,10 ± 5,55 (62,5–76,9)	0,182	0,066	0,147	0,128	0,077	0,137	0,565	0,012		
HF_po% (%)	19,85 ± 5,10 (16,7–22,2)	18,75 ± 5,68 (13,0–27,1)	0,444	–0,054	0,799	0,016	0,008	0,642	0,891	0,001		

Tab. 3 (Fortsetzung)

Parameter	AÄ	OÄ	Mann-Whitney-U	ALM	Test der Zwischensubjekteffekte				Ärztliche Funktion			
					Korrigiertes Modell				OP-Aufgaben		Ärztliche Funktion	
	MW ± SD (95 % KI)	MW ± SD (95 % KI)	p-Wert	R²	p-Wert	η²	p-Wert	η²	p-Wert	η²	p-Wert	η²
LF_po_nu	78,11 ± 5,47 (75,8–81,6)	79,81 ± 5,96 (70,3–85,2)	0,365	–0,035	0,620	0,034	0,494	0,017	0,837	0,002		
HF_po_nu	21,83 ± 5,45 (18,3–24,2)	20,16 ± 5,96 (14,8–29,7)	0,365	–0,035	0,619	0,034	0,486	0,018	0,822	0,002		
LF/HF	3,9 ± 1,36 (3,2–4,7)	4,3 ± 1,34 (2,2–5,8)	0,365	–0,049	0,739	0,021	0,714	0,005	0,956	0,000		
Differenzwerte Δ (OP-Phase – Nicht-OP-Phase)												
Δ VLF_po (ms²)	363,93 ± 912,06 (–140,2–720,2)	–39,76 ± 121,77 (–876,3–1303,7)	0,945	–0,012	0,449	0,056	0,562	0,012	0,909	0,000		
Δ LF_po (ms²)	–276,61 ± 584,44 (–683,3–111,9)	–163,74 ± 1181,07 (–1140,2–874,9)	0,234	–0,067	0,939	0,004	0,938	0,000	0,804	0,002		
Δ HF_po (ms²)	–197,36 ± 127,11 (–320,6–14,4)	–387,55 ± 587,58 (–877,8–101,9)	0,800	0,024	0,272	0,089	0,511	0,016	0,181	0,063		
Δ Total_po (ms²)	–110,30 ± 1052,84 (–832,5–505,8)	–591,26 ± 1851,38 (–2104,8–1286,2)	0,945	–0,040	0,662	0,029	0,788	0,003	0,812	0,002		
Δ VLF_po% (%)	11,27 ± 25,84 (–2,9–21,59)	–0,26 ± 2,84 (–24,4–37,4)	0,982	–0,013	0,454	0,055	0,586	0,011	0,881	0,001		
Δ LF_po% (%)	–2,55 ± 24,71 (–14,2–9,3)	8,37 ± 4,05 (–21,7–37,8)	0,695	–0,025	0,535	0,044	0,978	0,000	0,065	0,012		
Δ HF_po% (%)	–8,71 ± 5,56 (–9,3–4,3)	–8,11 ± 3,55 (–20,8–8,2)	0,908	0,134	0,051	0,191	0,016	0,189	0,055	0,125		
Δ LF_po_nu	8,36 ± 6,09 (3,7–9,2)	8,68 ± 3,68 (8,3–22,2)	0,945	0,110	0,074	0,169	0,024	0,169	0,046	0,135		
Δ HF_po_nu	–8,34 ± 6,08 (–9,2–3,7)	–8,69 ± 3,66 (–22,2–8,3)	0,945	0,110	0,074	0,169	0,024	0,169	0,045	0,135		
Δ LF/HF	3,1 ± 2,31 (1,4–3,5)	4,0 ± 1,61 (3,4–8,9)	0,295	0,092	0,098	0,153	0,057	0,123	0,033	0,152		
AÄ Assistenzärzte, OÄ Oberärzte, MW Mittelwert, SD Standardabweichung, ALM Allgemeines lineares Modell, KI Konfidenzintervall												

Tab. 4 Vergleich der nichtlinearen HRV-Parameter während der beiden Arbeitsphasen (OP- und Nicht-OP-Phase) zwischen Assistenzärzten ($n = 24$ Datensätze) und Oberärzten ($n = 7$ Datensätze)

Parameter	AÄ	OÄ	Mann-Whitney-U	ALM Test der Zwischensubjekteffekte						
	MW $\pm$ SD (95 % KI)	MW $\pm$ SD (95 % KI)		Korrigiertes Modell			OP-Aufgaben		Ärztliche Funktion	
			p -Wert	R^2	p -Wert	η^2	p -Wert	η^2	p -Wert	η^2
<i>OP-Phase</i>										
SD1 (ms)	15,15 $\pm$ 4,74 (14,30–18,7)	19,82 $\pm$ 3,14 (9,6–20,7)	0,019	0,234	0,009	0,285	0,044	0,138	0,692	0,006
SD2 (ms)	54,11 $\pm$ 17,73 (46,0–63,4)	65,34 $\pm$ 9,65 (41,2–85,3)	0,115	0,017	0,301	0,082	0,812	0,002	0,530	0,014
DFA1	1,52 $\pm$ 0,06 (1,5–1,5)	1,55 $\pm$ 0,07 (1,5–1,7)	0,317	0,107	0,078	0,167	0,060	0,121	0,025	0,167
DFA2	0,55 $\pm$ 0,24 (0,4–0,6)	0,38 $\pm$ 0,05 (0,2–0,8)	0,009	0,087	0,107	0,148	0,256	0,046	0,982	0,000
<i>Nicht-OP-Phase</i>										
SD1 (ms)	23,90 $\pm$ 4,61 (20,4–27,6)	27,23 $\pm$ 11,95 (17,8–36,1)	0,595	–0,025	0,541	0,043	0,943	0,000	0,595	0,010
SD2 (ms)	55,91 $\pm$ 10,44 (51,0–63,3)	65,06 $\pm$ 15,66 (45,1–76,4)	0,153	0,055	0,174	0,118	0,494	0,017	0,707	0,005
DFA1	1,32 $\pm$ 0,09 (1,3–1,4)	1,36 $\pm$ 0,15 (1,2–1,5)	0,104	–0,036	0,622	0,033	0,594	0,010	0,989	0,000
DFA2	0,42 $\pm$ 0,05 (0,4–0,4)	0,40 $\pm$ 0,06 (0,4–0,5)	0,127	0,028	0,255	0,093	0,216	0,054	0,646	0,006
<i>Differenzwerte Δ (OP-Phase – Nicht-OP-Phase)</i>										
Δ SD1 (ms)	–8,75 $\pm$ 4,55 (–10,9–4,0)	–7,40 $\pm$ 11,64 (–20,5–3,1)	0,153	–0,005	0,410	0,062	0,214	0,055	0,419	0,023
Δ SD2 (ms)	–1,81 $\pm$ 18,38 (–11,7–6,8)	0,25 $\pm$ 12,58 (–20,9–25,8)	0,253	–0,066	0,937	0,005	0,814	0,002	0,732	0,004
Δ DFA1	0,20 $\pm$ 0,11 (0,1–0,2)	0,19 $\pm$ 0,16 (0,1–0,4)	0,982	0,006	0,352	0,072	0,153	0,072	0,242	0,049
Δ DFA2	0,13 $\pm$ 0,23 (–0,0–0,2)	–0,1 $\pm$ 0,05 (–0,2–0,4)	0,038	0,043	0,205	0,107	0,392	0,026	0,897	0,001

AÄ Assistenzärzte, OÄ Oberärzte, MW Mittelwert, SD Standardabweichung, ALM Allgemeines lineares Modell, KI Konfidenzintervall

großem Effekt statistisch nachgewiesen ($\eta^2 = 0,230$ bzw. $0,275$; (■ Tab. 2)).

Trotz geringerer spektraler Gesamtleistung der AÄ-Gruppe im Vergleich zu der OÄ-Gruppe konnten diese Differenzen statistisch nicht bestätigt werden (■ Tab. 3). Jedoch zeigte sich in dem LF-Band während der OP-Phase eine signifikant deutlich reduzierte Leistung bei den AÄ ($p = 0,014$). Dies konnte auch in dem korrigierten ALM bestätigt werden ($p = 0,006$, $\eta^2 = 0,310$) (■ Tab. 3).

Der Kurzzeitvariabilitätswert SD1, der den parasympathischen Einfluss widerspiegelt, war bei der Gruppe AÄ signifikant geringer als in der Gruppe OÄ (■ Tab. 4). Das wurde in dem korrigierten Modell bestätigt ($p = 0,009$; $\eta^2 = 0,285$). In der Nicht-OP-Phase unterschieden sich die nichtlinearen Parameter in beiden Gruppen nicht. Bei der Betrachtung der

Auslenkung dieser Parameter zeigt sich ein signifikanter Unterschied beim Langzeitvariabilitätswert DF2 ($p = 0,038$); jedoch konnten diese Differenzen mittels ALM nicht als signifikant bestätigt werden (■ Tab. 4).

Die Auswertung hinsichtlich der Aktivität des ANS zeigte einen geringen parasympathischen Index ($p = 0,005$; $\eta^2 = 0,313$), einen höheren sympathischen Index ($p = 0,002$; $\eta^2 = 0,250$) und auch einen höheren Stressindex ($p = 0,013$; $\eta^2 = 0,265$) während der OP-Phase der AÄ-Gruppe (■ Tab. 5). Trotz höherer Werte der AÄ-Gruppe ($10,9 \pm 2,04$) lag der Stressindex im Durchschnitt aller Aufnahmen im Normbereich ($7,1$ – $12,2$). Diese Gruppenunterschiede konnten nicht während der nichtoperativen Tätigkeiten auf der Station gefunden werden. Der Stressindex bei der OP-Phase

war höher als bei der Nicht-OP-Phase, wobei sich dies statistisch nur bei den Assistenzärzten ($p = 0,001$) bestätigen ließ. Demzufolge zeigte sich bei ihnen eine deutlich höhere psychoemotionale Anspannung (■ Tab. 5).

Betrachtet man die relativen Anteile an der gesamten Dauer der OP-Phase der Zeit, in der der Stressindex erhöht, hoch oder sehr hoch war, wird deutlich, dass bei der Gesamtstichprobe 42 % der OP-Zeit durch einen erhöhten bis sehr hohen Stressindex gekennzeichnet war ($p < 0,001$). Die Hälfte der Arbeitszeit im OP ($50,8\%$) galt für die Assistenzärzte als Stresssituation, während bei den Oberärzten nur $11,7\%$ ($p = 0,015$; $\eta^2 = 0,258$) in diese Kategorie fallen (■ Abb. 1).

Der relative Anteil der Zeit mit erhöhtem Stressindex an der Gesamtzeit der

Tab. 5 Vergleich der Parameter der ANS-Aktivität während der beiden Arbeitsphasen (OP- und Nicht-OP-Phase) zwischen Assistenzärzten ($n = 24$ Datensätze) und Oberärzten ($n = 7$ Datensätze)

Parameter	AÄ	OÄ	Mann-Whitney-U	ALM Test der Zwischensubjekteffekte						
	MW $\pm$ SD (95 % KI)	MW $\pm$ SD (95 % KI)		Korrigiertes Modell		OP-Aufgaben		Ärztliche Funktion		
			p -Wert	R^2	p -Wert	η^2	p -Wert	η^2	p -Wert	η^2
<i>OP-Phase</i>										
PNS-Index	$-1,80 \pm 0,30$ ($-1,9$ – $-1,6$)	$-1,41 \pm 0,24$ ($-2,0$ – $-1,3$)	0,002	0,264	0,005	0,313	0,134	0,078	0,677	0,006
SNS-Index	$1,88 \pm 0,64$ ($1,5$ – $2,19$)	$1,13 \pm 0,37$ ($0,6$ – $2,2$)	0,002	0,196	0,018	0,250	0,410	0,024	0,394	0,026
Stressindex	$10,87 \pm 2,04$ ($9,5$ – $11,5$)	$8,56 \pm 0,95$ ($7,4$ – $12,2$)	0,001	0,212	0,013	0,265	0,213	0,055	0,633	0,008
<i>Nicht-OP-Phase</i>										
PNS-Index	$-0,83 \pm 0,51$ ($-1,2$ – $-0,6$)	$-0,79 \pm 0,90$ ($-1,3$ – $0,3$)	0,835	$-0,036$	0,622	0,033	0,341	0,032	0,371	0,029
SNS-Index	$0,50 \pm 0,72$ ($0,3$ – $1,0$)	$0,56 \pm 0,86$ ($-0,9$ – $1,0$)	0,945	$-0,009$	0,434	0,058	0,260	0,056	0,334	0,033
Stressindex	$7,85 \pm 0,87$ ($7,4$ – $8,6$)	$7,73 \pm 1,71$ ($5,7$ – $8,6$)	0,872	$-0,034$	0,604	0,035	0,334	0,033	0,345	0,032
<i>Differenzwerte Δ (OP-Phase – Nicht-OP-Phase)</i>										
Δ PNS-Index	$-0,97 \pm 0,52$ ($-1,1$ – $-0,5$)	$-0,62 \pm 0,92$ ($-2,0$ – $-0,4$)	0,076	0,084	0,112	0,145	0,098	0,095	0,474	0,018
Δ SNS-Index	$1,38 \pm 0,76$ ($0,7$ – $1,6$)	$0,57 \pm 0,90$ ($0,3$ – $2,3$)	0,026	0,209	0,014	0,262	0,065	0,116	0,780	0,003
Δ Stressindex	$3,02 \pm 2,23$ ($1,4$ – $3,6$)	$0,83 \pm 1,81$ ($-0,1$ – $5,4$)	0,022	0,181	0,023	0,236	0,112	0,088	0,937	0,000

AÄ Assistenzärzte, OÄ Oberärzte, MW Mittelwert, SD Standardabweichung, ALM Allgemeines lineares Modell, KI Konfidenzintervall

Nicht-OP-Phase war in beiden Gruppen vergleichbar (AÄ: $18,9 \pm 17,95$ % vs. OÄ: $13,4 \pm 23,74$ %; $p = 0,651$).

Zusammenfassend zeigen die HRV-Parameter der weniger erfahrenen AÄ während der OP eine niedrigere HRV als die OÄ.

Beide Assistenzärzte zeigten im Fragebogen zur Erfassung von arbeitsbezogenen Verhalten- und Erlebensmustern (AVEM; [31]) ein ausgeprägtes gesundheitsgefährdendes Risikomuster A und/oder B; beide haben eine hohe Verausgabungsbereitschaft sowie eine geringere Lebenszufriedenheit und ein geringeres Erleben sozialer Unterstützung. Im Vergleich zu den AÄ ließ sich bei den OÄ keine eindeutige Zuordnung zu den Risikomustern feststellen. Nur bei einem OA lag eine höhere Wahrscheinlichkeitszuordnung zu Risikotyp A (33 %) und Risikotyp B (39 %) vor. Anhand der Bestimmung des Stresserlebnistyps aus dem Differential Stress Inventory Fragebogen (DSI; [22]) ist selbiger OA als Normaltyp (Stress ist alltäglich, wird aber erfolgreich bewältigt; 57 %) und Typ

„Hohe Beanspruchung – Erfolgreiches Coping“ (41 %) einzuordnen. Mit einer Profizugehörigkeit von 73 % besitzt ein weiterer OA arbeitsbezogene gesundheitsförderliche Verhaltensmuster und zeigt im DSI eine 100 %ige Einordnung zu Typ 3 (Stressresistent). Bei der Einordnung zum Stresserlebnistyp nach dem DSI-Fragebogen gehört einer der AÄ dem Normaltyp und der andere dem Überbeanspruchstyp an.

Diskussion

Die Auswahl der Aufzeichnungsdauer von 180 min ist abhängig von der Fragestellung, da es sich hier um die Vergleiche der Beanspruchung in der OP- und Nicht-OP-Phase handelte. Vergleichende Untersuchungen aus mehreren Messungen sollten eine identische Analysedauer haben [6]. Nur so sind die ermittelten HRV-Parameter aus diesen 2 Messungen vergleichbar. Auf die Auswahl einer „Nullwert“-Phase (in der Freizeit bzw. ohne Arbeitsbelastungen) wurde hier verzichtet, da diese der Anforderung der Auszeichnungsdauer nach auch 180 min lang sein sollte. Da aber die Methode für die Aufzeichnung verlangt, möglichst immer die gleiche bzw. eine ähnliche Tageszeit der Analyseabschnitte zu nehmen, um dem Einfluss der zirkadianen Rhythmik zu entgehen, läge die Nullwert-Phase in den Spätabendstunden, und das wäre kritisch zu betrachten. Eine zusätzliche Ableitung des Freizeit-EKGs an einem anderen, dienstfreien Tag, wäre eine theoretische Alternative. In dieser Studie wurden die Differenzwerte (Δ) zwischen den Werten während der OP und den Werten aus der nichtoperativen Tätigkeit gebildet, um die individuellen Auslenkungen zu analysieren.

Da die Dauer der zu analysierenden OP-Phase und der Nicht-OP-(Stations-)Phase identisch gewählt ist, sind die Stresszeitanteile in den jeweils bemessenen Arbeitsphasen methodisch vergleichbar.

Es stellte sich heraus, dass die vegetativen Antwortreaktionen auf die Stresssituationen während der ACB-Operation bei den Assistenzärzten im Vergleich zu

Abb. 1 ▲ Vergleich der Zeit mit erhöhtem bis stark erhöhtem Stressindex während der unterschiedlichen Arbeitsphasen (OP und Nicht-OP) von Assistenzärzten ($n = 24$ Datensätze) und Oberärzten ($n = 7$ Datensätze) und der Gesamtstichprobe (* $p < 0,05$, *** $p < 0,001$)

den erfahrenen Oberärzten ausgeprägter sind. Daneben wurde gezeigt, dass die Arbeitsbelastungen in der OP-Phase, die durch den objektiven Beanspruchungsparameter ermittelt wurden, erwartungsgemäß höher lagen als in der alltäglichen Stationsarbeit der Herzchirurgen. Sowohl bei den Assistenzärzten als auch bei den Oberärzten fand eine höhere Beanspruchung während der OP im Vergleich zur Nicht-OP-Phase statt. Die statistische Testung im korrigierten Modell auf Effekte während der intraoperativen Zeiten bestätigte, dass diese auf die höhere Stresssituation im OP zurückzuführen sind. Hiermit wird die aufgestellte Arbeitshypothese bestätigt.

Einige HRV-Parameter der untersuchten Probanden liegen im Referenzbereich [29], wobei bei genauer Betrachtung der einzelnen OP-Zeiten deutlich wird, dass die Assistenzärzte fast die Hälfte der OP-Zeit im hohen Stresslevel verbringen und eine reduzierte parasympathische Aktivität haben. Zu den Parametern der Aktivität des ANS fehlen solche Referenzdaten. Ein Vergleich der neuen Parameter der ANS-Aktivität, die bis jetzt in anderen Studien kaum zur Anwendung kamen, deutet darauf hin, dass Chirurgen einer hohen psychischen Belastung während der OP ausgesetzt sind [2, 37, 39]. Vor allem ist hervorzuheben, dass bei stressbelasteten

Chirurgen eine höhere intraoperative Herzschlagfrequenz und eine geringe Ausprägung der HRV bei Erstoperateuren im Vergleich zu Assistenzoperateuren bzw. bei unerfahrenen im Vergleich zu erfahrenen Operateuren zu erkennen war [39]. Die chronische Stresssituation geht mit einer Reduzierung derjenigen HRV-Parameter, die die parasympathische Aktivität widerspiegeln, einher und somit mit einer Abnahme der vagalen Kontrolle und Steuerung des Herzens [17]. Die hohen intraoperativen Mean-HR- und niedrigeren RMSSD-Werte der Assistenzärzte bestätigen dies.

Bei einer Befragung der Assistenzärzte mit und ohne Weiterbildung zur psychosozialen Beanspruchung [20] wurde gezeigt, dass beide Gruppen sich als besonders hoch belastet fühlen. Die stressinduzierten vegetativen Antwortreaktionen objektivieren dieses Bild, dass in der Beanspruchung ein deutlicher Unterschied zwischen operierenden Assistenzärzten und den Oberärzten besteht.

Die hier beobachteten Effekte in der OP-Phase weisen auf eine höhere Reaktion bei den Assistenzärzten als bei den erfahrenen Oberärzten hin, waren jedoch nicht pathologisch. Nach Ladwig et al. [21] sind die Reaktionsmuster dann pathologisch, wenn das Zurückkehren in den Ruhezustand nicht passiert oder

wenn es dem Körper nicht mehr möglich ist, in der Stresssituation „mit einer Leistungssteigerung auf die kompromittierte Homöostase zu reagieren“. Das ist in dieser Stichprobe nicht der Fall, da nach der Belastungssituation die HRV-Parameter wieder in den Ausgangszustand zurückgehen.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen bei den AÄ eine deutliche reduzierte Leistung im LF-Band während der OP-Phase im Vergleich zu den OÄ. Die Aktivität von Sympathikus und Parasympathikus spiegelt die Anpassungsfähigkeit des Organismus auf die hohe Belastungssituation während der OP wider und liefert Auskunft über dessen Zustand und die ablaufenden Adaptationsprozesse. Hier verläuft die Beanspruchungsreaktion auf die Erfordernisse nach dem Muster: Stresseinwirkung – sympathische Aktivierung und parasympathische Herunterregulierung. Idealerweise folgt bei einem gesunden Organismus zum Schluss dieser Wirkkette, wenn es sich um eine kurzzeitige Stressreaktion handelt, nach der Stresseinwirkung eine schnelle kardiovagale Erholungsreaktion.

In den Nicht-OP-Phasen zeigen die AÄ, dass sich ihre HRV verbessert und somit ihre physiologischen Regulationsmechanismen in der Lage sind, den Parasympathikus wieder zu aktivieren. Gute Anpassungsfähigkeit steht im Zusammenhang mit einer guten Erholungsfähigkeit, psychischem Wohlbefinden und körperlicher Vitalität [17]. Da die AÄ lediglich im OP einen *starken* Herzrhythmus aufweisen, bedeutet das, dass sie während der OP-Tätigkeit den besonders hohen Stresssituationen ausgesetzt sind. Höhere Werte des Stressindex werden als Stress für den Organismus und als eingeschränkte Anpassungsfähigkeit betrachtet [3]. Die Aktivierung der sympathischen Regulierung in dieser Situation manifestiert sich in der Stabilisierung des Herzrhythmus, Abnahme der Reichweite der Kardiointervalldauer und Zunahme der Anzahl der NN-Intervalle ähnlicher Dauer.

Aufgrund der hohen arbeitsbezogenen Stressbelastung sind frühzeitige Präventions- und Gesundheitsförderungsmaßnahmen dennoch sinnvoll, durchaus

schon im Studium, z. B. durch Experten aus der Psychiatrie, Psychotherapie, psychosomatischen Medizin, medizinischen Psychologie und Arbeitsmedizin, als eine gute Strategie an universitären Kliniken und Lehrkrankenhäusern. Hier wären neben den verhaltens- und verhältnispräventiven Maßnahmen der Primärprävention die Beratungsgespräche (u. a. auch im Rahmen der Wunschvorsorge) zu diskutieren. Im Beratungsgespräch mit dem Betriebsarzt im Rahmen der sekundären Prävention sollte man basale medizinische Kenntnisse des Mitarbeiters aus dem Bereich der Stressforschung erweitern und ihn in Bezug auf eigene Auswertungsergebnisse der stressinduzierten vegetativen Antwortreaktion hinweisen, seine Herzratenvariabilität situationsbedingt interpretieren und seine Ressourcen aufzeigen. Der Betriebsarzt kann anhand der HRV-Parameter und des Spektrogramms (vor allem anhand der Abbildung der vagalen Aktivität) psychosomatische Zusammenhänge zwischen Belastung und Gesundheitszustand verdeutlichen, in dem Beratungsgespräch dazu Bezug nehmen und ggf. bei starkem Handlungsbedarf frühzeitig einen Weg zu möglichen Lösungsansätzen (u. a. zusammen mit den Kollegen aus der Psychotherapie) suchen. Das könnten körperliche Trainingskonzepte zur Stärkung der vagalen Steuerung des HKS („das Schalten in den Ruhemodus“), die Veränderungen der HRV positiv bewirken [30], oder das Erlernen bestimmter Entspannungstechniken, Atemungsübungen, die Teilnahme an Stressbewältigungskursen, der Ausbau individueller Ressourcen und Stärkung von Fachkompetenzen, die der höheren Belastung gegensteuern, im Rahmen der Verhaltensprävention sein. Mitentscheidend ist in diesem Zusammenhang sicherlich auch ein vertrauensvolles Verhältnis und wertschätzendes Klima innerhalb der Fachabteilungen und zwischen den auszubildenden Operateuren und ihren Ausbildern [39]. Hier sind die Maßnahmen der Verhältnisprävention erforderlich, wie z. B. die organisatorischen Maßnahmen, realistisch kalkuliertes Schnitt-Naht-Zeit-Management, Einhaltung der Pausen, geregelte Dienstpläne oder die Fortbildungs- oder Supervisi-

onsangebote für die Führungskräfte [12, 42]. Das vorbildliche Verhalten des Vorgesetzten und eine offene Gesprächskultur zur Förderung des Zusammenhalts im Team spielen dabei eine große Rolle [39].

Vorrangig junge Assistenzärzte sind als potenzielle Zielgruppe für Interventionen in der Klinik anzusehen. Dort gilt es, auf institutioneller/administrativer und individueller Ebene zu agieren. Möglicherweise kann der Einbezug von erfahrenen Oberärzten nicht nur im OP-Saal ein potenzieller Ansatz sein, um jungen Herzchirurgen Stabilität und Sicherheit im Umgang mit hohem Stressaufkommen zu geben. Auch eine frühzeitige Stärkung der Kompetenzen bei akutem Stressaufkommen für Medizinstudierende kann dem im späteren Berufsalltag hohen Belastungsaufkommen neben der Stärkung der Ressourcen entgegenwirken. Dabei sollte das Selbst- und Stressmanagement schon im Medizinstudium gefördert werden, um für künftige Ärzte Ressourcen für eine stabile Gesundheit zu entwickeln. So könnten angehende Chirurgen von einer strukturierten Ausbildung profitieren, um ihre wahrgenommenen Stressressourcen oder Fähigkeiten des richtigen Stressmanagements zu steigern. Es sollten in der Klinik die Organisation der Notfallsorge und kollegiales Feedback bei Zwischenfällen und z. B. Peer-Support-Angebote im Todesfall vorhanden sein.

Methodische Limitationen

Die Ergebnisse dieser Pilotstudie sind nur eingeschränkt aussagefähig und nicht zu verallgemeinern, da die Stichprobe sehr klein war. Eine Erhöhung der Anzahl der Assistenzärzte in dieser Fachrichtung und mit dieser Qualifikationsstufe bei gleicher Art der durchgeführten OP wäre ein mehrjähriger Prozess. Es wurde ein anderer Weg gewählt, indem die EKG-Aufnahmen mehrmals bei denselben Probanden an verschiedenen Tagen durchgeführt wurden.

Fazit für die Praxis

- Mit der vorgelegten Studie wird das intraoperative Stressniveau bei

Herzchirurgen objektiviert, wobei das Assistenzpersonal ohne hohen Erfahrungswert eine höhere psychosomatische Anspannung gegenüber den Oberärzten zeigt.

- In fast der Hälfte der OP-Zeit unterliegen die Assistenzärzte einem erhöhten Stresslevel.
- Es erscheint sinnvoll, verhältnispräventive Ansätze und gesundheitsfördernde Maßnahmen am Arbeitsplatz individuumsspezifisch einzuleiten, welche die Ärzte unterstützt, erhöhtes Stressempfinden zu reduzieren und den vagalen Tonus zu stärken, um ihre Gesundheit und ihr Wohlbefinden zu erhalten.
- Der Arbeitgeber soll auf der Grundlage der Gefährdungsbeurteilung organisatorische Maßnahmen im Sinne der Verhältnisprävention ausarbeiten.
- Somit kann eine qualitativ hochwertige Gesundheitsversorgung gewährleistet werden.

Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. med. habil.
Irina Böckelmann**
Bereich Arbeitsmedizin,
Medizinische Fakultät, Otto-
von-Guericke-Universität
Magdeburg
Leipziger Str. 44,
39120 Magdeburg,
Deutschland
Irina.Boeckelmann@
med.ovgu.de

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. I. Böckelmann, R. Pohl, G. Awad, S. Darius, J. Wippermann, B. Thielmann und M. Scherner geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Alle beschriebenen Untersuchungen am Menschen oder an menschlichem Gewebe wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethikkommission (Registrierungsnummer 2020/185/19), im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki in der aktuellen, überarbeiteten Fassung durchgeführt. Von allen beteiligten Patienten liegt eine Einverständniserklärung vor.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz

veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Anton NE, Montero PN, Howley LD, Brown C, Stefanidis D (2015) What stress coping strategies are surgeons relying upon during surgery? *Am J Surg* 210(5):846–851. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2015.04.002>
- Arora S, Sevdalis N, Nestel D, Woloshynowych M, Darzi A, Kneebone R (2010) The impact of stress on surgical performance: a systematic review of the literature. *Surgery* 147(3):318–330.e6. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2009.10.007>
- Baevsky RM, Chernikova AG (2017) Heart rate variability analysis: physiological foundations and main methods. *Cardiometry* 10:66–76
- Beschoner P, Limbrecht-Ecklundt K, Jerg-Bretzke L (2019) Psychische Gesundheit von Ärzten: Burnout, Depression, Angst und Substanzgebrauch im Kontext des Arztberufes. *Nervenarzt* 90(9):961–974. <https://doi.org/10.1007/s00115-019-0739-x>
- Böckelmann I, Sammito S (2016) Herzfrequenzvariabilität. In: Letzel S, Nowak D (Hrsg) *Handbuch der Arbeitsmedizin*. ecomed Medizin, Landsberg, S 1–32
- Böckelmann I, Sammito S (2020) Herzfrequenzvariabilitätsanalyse in der betriebsärztlichen Praxis. *Zbl Arbeitsmed*. <https://doi.org/10.1007/s40664-020-00401-x>
- Böhm B, Rötting N, Schwenk W, Grebe S, Mansmann U (2001) A prospective randomized trial on heart rate variability of the surgical team during laparoscopic and conventional sigmoid resection. *Arch Surg* 136(3):305–310. <https://doi.org/10.1001/archsurg.136.3.305>
- Buddeberg-Fischer B, Klagoher R, Stamm M, Siegrist J, Buddeberg C (2008) Work stress and reduced health in young physicians: prospective evidence from Swiss residents. *Int Arch Occup Environ Health* 82(1):31–38. <https://doi.org/10.1007/s00420-008-0303-7>
- Cannon WB (1929) *Bodily changes in pain, hunger, fear, and rage*, 2. Aufl. Appleton-Century-Crofts, New York
- Collins S, Karasek R (2010) Reduced vagal cardiac control variance in exhausted and high strain job subjects. *Int J Occup Med Environ Health* 23(3):267–278. <https://doi.org/10.2478/v10001-010-0023-6>
- Collins SM, Karasek RA, Costas K (2005) Job strain and autonomic indices of cardiovascular disease risk. *Am J Ind Med* 48(3):182–193. <https://doi.org/10.1002/ajim.20204>
- Darius S, Meyer F, Böckelmann I (2016) Gefährdungsbeurteilung und Arbeitsschutzmaßnahmen in der Chirurgie: Relevantes Wissen über die Arbeitsmedizin. *Chirurg* 87(11):948–955. <https://doi.org/10.1007/s00104-016-0205-2>
- Demirtas Y, Tulmac M, Yavuzer R, Yalcin R, Ayhan S, Latifoglu O, Atabay K (2004) Plastic surgeon's life: marvelous for mind, exhausting for body. *Plast Reconstr Surg* 114(4):923–931. <https://doi.org/10.1097/01.PRS.0000133166.50279.7C> (discussion 932–933)
- Grantcharov PD, Boillat T, Elkabany S, Wac K, Rivas H (2019) Acute mental stress and surgical performance. *BJS Open* 3(1):119–125. <https://doi.org/10.1002/bjs.5.104>
- Guidi J, Lucente M, Sonino N, Fava GA (2021) Allostatic load and its impact on health: a systematic review. *Psychother Psychosom* 90(1):11–27. <https://doi.org/10.1159/000510696>
- Huth C, Thorand B, Baumert J, Kruse J, Emeny RT, Schneider A, Meisinger C, Ladwig K-H (2014) Job strain as a risk factor for the onset of type 2 diabetes mellitus: findings from the MONICA/KORA Augsburg cohort study. *Psychosom Med* 76(7):562–568. <https://doi.org/10.1097/PSY.0000000000000084>
- Jarczok MN, Jarczok M, Mauss D, Koenig J, Li J, Herr RM, Thayer JF (2013) Autonomic nervous system activity and workplace stressors—A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev* 37(8):1810–1823. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.07.004>
- Jones KI, Amawi F, Bhalla A, Peacock O, Williams JP, Lund JN (2015) Assessing surgeon stress when operating using heart rate variability and the State Trait Anxiety Inventory: will surgery be the death of us? *Colorectal Dis* 17(4):335–341. <https://doi.org/10.1111/codi.12844>
- Kern M, Buia A, Tonus C, Weigel TF, Dittmar R, Hanisch E, Zapf D (2019) Psychische Belastungen, Ressourcen und Wohlbefinden von Chirurgen in Deutschland: Eine Querschnittsstudie. *Chirurg* 90(7):576–584. <https://doi.org/10.1007/s00104-018-0780-5>
- von dem Knesebeck O, Klein J, Grosse Frie K, Blum K, Siegrist J (2010) Psychosocial stress among hospital doctors in surgical fields: results of a nationwide survey in Germany. *Dtsch Arztebl Int* 107(14):248–253. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0248>
- Ladwig K-H, Lukaschek K, Baumert J (2015) Wie Stress im Beruf das Herz schädigt. *Dtsch Arztebl* 2:30–33
- Lefèvre S, Kubinger KD (2004) *Differentielles Stress Inventar (DSI) (Manual, Mödling)*
- Löhlgen H (1999) Herzfrequenzvariabilität. Serie: Neue Methoden in der kardialen Funktionsdiagnostik. *Dtsch Arztebl* 96(31–32):A 2029–2032
- Mauss D, Li J, Schmidt B, Angerer P, Jarczok MN (2015) Measuring allostatic load in the workforce: a systematic review. *Ind Health* 53(1):5–20. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2014-0122>
- McEwen BS (1998) Stress, adaptation, and disease. Allostatic and allostatic load. *Ann NY Acad Sci* 840:33–44. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1998.tb09546.x>
- Pereira D, Müller P, Elfering A (2015) Workflow interruptions, social stressors from supervisor(s) and attention failure in surgery personnel. *Ind Health* 53(5):427–433. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2013-0219>
- Rohmert W (1984) Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Z ArbWiss* 38:193–200
- Sammito S, Thielmann B, Seibt R, Klusmann A, Weippert M, Böckelmann I (2015) Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational science. *ASUI*. <https://doi.org/10.17147/ASUI.2015-06-09-03>
- Sammito S, Böckelmann I (2017) New reference values of heart rate variability during ordinary daily activity. *Heart Rhythm* 14(2):304–307. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2016.12.016>
- Sandercock GRH, Bromley PD, Brodie DA (2005) Effects of exercise on heart rate variability: inferences from meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 37(3):433–439. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000155388.39002.9d>
- Schaarschmidt U, Fischer A (2003) *AVEM – Arbeitsbezogenes Verhaltens- und Erlebensmuster*. Swets & Zeitlinger, Frankfurt a.M.
- Schuster AK, Fischer JE, Thayer JF, Mauss D, Jarczok MN (2016) Decreased heart rate variability correlates to increased cardiovascular risk. *Int J Cardiol* 203:728–730. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2015.11.027>
- Selye H (1936) A syndrome produced by diverse noxious agents. *Nature* 38:26–32
- Stansfeld SA, Shipley MJ, Head J, Fuhrer R (2012) Repeated job strain and the risk of depression: longitudinal analyses from the Whitehall II study. *Am J Public Health* 102(12):2360–2366. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2011.300589>
- Tarvainen MP, Lippinen JA, Niskanen J-P, Ranta-Aho PO (2019) *Kubios HRV (ver. 3.3) user's guide*. ©Kubios Oy
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996) Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 93(5):1043–1065
- The A-F, Reijmerink I, van der Laan M, Cnossen F (2020) Heart rate variability as a measure of mental stress in surgery: a systematic review. *Int Arch Occup Environ Health*. <https://doi.org/10.1007/s00420-020-01525-6>
- Theodoraki MN, Ledderose GJ, Becker S, Leunig A, Arpe S, Luz M, Stelter K (2015) Mental distress and effort to engage an image-guided navigation system in the surgical training of endoscopic sinus surgery: a prospective, randomised clinical trial. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 272(4):905–913. <https://doi.org/10.1007/s00405-014-3194-0>
- Thielmann B, Boeckelmann I (2016) Herzfrequenzvariabilität als Beanspruchungsindikator für psychische Belastungen bei Chirurgen – ein Literaturüberblick. *Zentralbl Chir* 141(5):577–582. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1396295>
- Unrath M (2012) Psychische Gesundheit von Ärzten in Deutschland: Prävalenz psychischer Erkrankungen und Risikofaktoren. *Hess Arztebl* 74(2):86–90
- Viljoen M, Claassen N (2017) Allostatic load and heart rate variability as health risk indicators. *Afr Health Sci* 17(2):428–435. <https://doi.org/10.4314/ahs.v17i2.17>
- von Voltmer E, Kieschke U, Spahn C (2007) Arbeitsbezogenes Verhalten und Erleben bei Ärzten im dritten bis achten Berufsjahr. *Z Psychosom Med Psychother* 53(3):244–257. <https://doi.org/10.13109/zptm.2007.53.3.244>
- Wegner R, Kostova P, Poschadel B, Manuwald U, Baur X (2009) Belastung und Beanspruchung von Krankenhausärzten/-innen. Ergebnisse einer

-
- aktuellen Erhebung. Arbeitsmed Sozialmed
Umweltmed 44(7):389–399
44. Zhang J-Y, Liu S-L, Feng Q-M, Gao J-Q, Zhang Q
(2017) Correlative evaluation of mental and
physical workload of Laparoscopic surgeons based
on surface electromyography and eye-tracking
signals. Sci Rep 7(1):11095. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11584-4>