

Originalarbeiten — Original Papers

Über die Wirkung des Alkohols und der Ermüdung auf das Verhalten einiger menschlicher Eigenreflexe

Hans JOACHIM und Hans-Herbert WEYER
Institut für Gerichtliche Medizin und Versicherungsmedizin
der Universität Freiburg (BRD)

Eingegangen am 6. Januar 1975

About the Effect of Alcohol and Tiredness on the Activity of Tendon Reflexes

Summary: In order to estimate the combined effect of ethanol and fatigue on the activity of tendon reflexes, the mechanical threshold and the latency of the patellar tendon, the radial and the biceps reflexes as well as the time of contraction of the musculus quadriceps femoris was investigated in men, with an ethanol level in blood at 80 mg % during elimination-period, and with tired subjects meaning that they had done their usual daywork and had been awake for about 20 to 22 hours. The group, consisting of 21 male students, was then investigated under both these conditions.

The patellar reflex was elicited by a specially constructed reflexhammer, by which the mechanical power could be measured exactly, from the angle of the position the hammer was released from and its known weight. The latency and the muscular contraction time were registered with electrodes on the skin by an oscillograph.

The mechanical threshold of the patellar, biceps and radial reflexes and the latency of these reflexes were significantly and equally impaired by ethanol as well as by fatigue. The combination of both these factors resulted in an almost exactly additional effect. The contractiontime of the m. quadriceps was prolonged more by fatigue than by ethanol.

Comparing these results with former findings, a depressing effect of the formatio reticularis of the brainstem on the activity of the spinal motorcells is to be discussed.

This impairment of neuro-muscular coordination and activity obviously is dangerous for drivers. It should especially be noted, that the effect of a wake period of 20 to 22 hours can be compared with that of a bloodlevel of 80 mg % ethanol as to the impairment of the tendon reflexes.

Zusammenfassung:

1. Bei 21 männlichen Studenten wurden der mechanische Schwellenwert und die muskuläre Antwort nach Reizung des PSR sowie die Reflexzeiten des PSR, RPR und BSR in ausgeruhtem und nüchternem Zustand, unter einer Alkoholbeeinflussung von durchschnittlich 0,8 g‰ in der Eliminationsphase, in ermüdetem Zustand und bei Ermüdung und Alkoholeinfluß überprüft. Die mechanische Reizschwelle des PSR wurde mit einem eigens hierfür entwickelten Gerät objektiv bestimmt. Die Latenz- und Kontraktionszeiten wurden durch Ableitung der Muskelaktionsströme mittels Hautelektroden im Kathodenstrahloszillographen registriert.
2. Die mechanische Reizschwelle des PSR und die Reflexzeiten des PSR, RPP und BSR waren durch Alkohol und Ermüdung signifikant erhöht und zwar jeweils

in gleichem Maße. Das Zusammenwirken von Alkohol und Ermüdung führte zu einer nochmaligen deutlichen Erhöhung dieser Parameter im Sinne einer fast genauen Wirkungsaddition. Die Kontraktionszeit des Skelettmuskels scheint dagegen eher durch die Ermüdung als den Alkoholeinfluß geschädigt zu werden.

3. Eine Erklärung dieser Phänomene wurde versucht und ihre verkehrsmedizinische Bedeutung erörtert.

Key words: Alkoholwirkung und Ermüdung - Ermüdung - Eigenreflexe, Alkohol und Ermüdung

EINLEITUNG

Durch biorhythmische Forschungen sowie Ermüdungsstudien ist bekannt, daß nach Mitternacht schon deutliche Einbußen der psycho-physischen Funktionen des Menschen auftreten. Die Wirkung des Alkohols auf die Leistungsfähigkeit des Menschen ist ebenfalls von zahlreichen Autoren mit den verschiedensten Methoden überprüft worden, wohingegen Informationen über den Effekt von Alkohol und Ermüdung ziemlich spärlich sind (siehe unten). Insbesondere fehlen jedoch Untersuchungen über das Verhalten der menschlichen Reflexe unter dem Einfluß beider Noxen vollständig.

Mit der reinen Alkoholwirkung auf das Reflexverhalten hat man sich jedoch schon relativ früh befaßt. Bereits 1915 berichteten DODGE und BENEDICT über den Einfluß von Alkohol auf den Patellarsehnenreflex (PSR). Sie untersuchten die Latenzzeit und die Stärke der Reflexantwort, die sie als Trethöhe des Beines nach Schlag auf die gespannte Sehne bestimmten. Sämtliche ihrer sechs Versuchspersonen (VP) zeigten eine Verlängerung der Latenzzeit und eine Herabsetzung der Reflexantwort nach unterschiedlichen Alkoholgaben. 1916 kam MILES mit der gleichen Versuchsanordnung zwei Stunden nach Verabreichung des Alkohols zu ähnlichen Ergebnissen. TUTTLE stellte dagegen 1924 fest, daß Alkohol eine steigernde Wirkung auf den PSR ausübte. Er fand bei neun von zwölf VP nach unterschiedlichen Alkoholgaben eine unterschiedlich erhöhte Amplitude der Reflexantwort.

TRAVES und DORSEY untersuchten 1929 die Latenzzeit des PSR beim Menschen (vier VP) und 1930 bei Hunden nach unterschiedlichen Alkoholmengen. Bei zunehmenden "alkoholischem Stupor" der VP war die Reflexzeit geringer, und die Kontraktionszeit länger. In der anschließenden Phase des "anhaltenden Stupor" war die Latenzzeit verlängert, während sich die Kontraktionszeit nicht mehr veränderte.

1942 überprüfte IKEMUNE die Latenzzeit des Cremaster-Reflexes der Ratte unter dem Einfluß von geringem atmosphärischem Druck und von Alkohol. Alkoholgaben

von 0,5 cm³ pro kg Körpergewicht führten nach 10 min. zu einer Verkürzung der Reflexzeit, was als lähmende Alkoholwirkung auf die Hemmzentren in der formatio reticularis gedeutet wurde.

Sämtliche der bisher zitierten Autoren führten keine Bestimmung der Blutalkoholkonzentration (BAK) durch.

Erst KOLMODIN (1953), der an toten Katzen, die in Äthernarkose decapitiert worden waren, einen "depressant effect" des Alkohols auf die Reflexantworten in Abhängigkeit von der Höhe der Alkoholwerte beschrieb, bestimmte die BAK und konnte feststellen, daß ab 0,5 g % eine dämpfende Wirkung zu beobachten war. Er fand keinen signifikanten Unterschied zwischen der Alkoholwirkung auf monosynaptische und auf polysynaptische Reflexe der hinteren Extremitäten. Zu gegensätzlichen Ergebnissen kamen jedoch MEGIRIAN u. Mitarb. 1958, als sie Katzen intravenös 19,7 g % Äthanol, 1,6 g % Pentanol bzw. 1 g % Thiopental in Ringerlösung in einer Dosis von 0,5 ml pro kg pro min. verabreichten. Die graduelle Abnahme der Reflexantworten wurde an den vorderen motorischen Wurzeln abgeleitet, wobei sich zeigte, daß Äthanol ähnlich wie Pentanol in größerem Umfange polysynaptische als monosynaptische Reflexbahnen unterdrückte.

Elektrophysiologische Studien von ISHIDO am Katzenhirn erbrachten 1964 erste Anhaltspunkte über die Alkoholwirkung auf die formatio reticularis. Bei BAK ab 0,6 g % war die Reflexantwort vermindert. Sowohl fördernde wie hemmende Zentren in der formatio reticularis wurden durch Alkohol beeinträchtigt bzw. gelähmt. ISHIDO folgerte, daß bei kleineren Werten die Alkoholwirkung zunächst auf die formatio reticularis beschränkt bleibt, und erst durch höhere Werte auch die motorischen Rückenmarkszellen betroffen werden. Eine Wirkung auf neuromuskuläre Übertragungsmechanismen schloß der Autor im Gegensatz zu KOLMODIN aus. MEYER-LOHMAN und Mitarb. konnten 1972 eine vermehrte Aktivität der RENSCHAW-Zellen im Rückenmark der Katze schon nach relativ geringen Dosen - 0,2 g Alkohol pro kg Körpergewicht - nachweisen. Die Aktivität der Zellen nahm mit steigenden Alkoholwerten zu.

Da diese Zellen über eine negative Rückkopplung eine Hemmfunktion auf einzelne motorische Neurone des Rückenmarkes ausüben, führt ihre Exzitation durch Alkohol zu einer Heraufsetzung der Reizschwelle der motorischen Neuronen.

Einflüsse des Alkohols auf die Muskelzelle direkt sind problematisch. Nach BION (1974) besteht eine antagonistische Wirkung zwischen Calciumionen und Äthanol auf die Kontraktionsfähigkeit des Muskels. Am isolierten Herzmuskel führt Alkohol in ziemlich hohen Konzentrationen zu einer Abnahme der Kontraktionsamplitude. Nach Verabreichung von Calcium stiegen die Amplituden nicht

nur deutlich an, sondern erreichten wieder Ausgangswerte. Danach scheint Alkohol den Transport von Calciumionen in der Muskelzelle zu behindern.

Der Einfluß der Ermüdung auf die menschlichen Eigenreflexe ist verhältnismäßig wenig untersucht worden. Das mag daran liegen, daß lange Zeit in Anlehnung an HOFFMANN seit 1919 eine relative Unermüdbarkeit der menschlichen Sehnenreflexe angenommen wurde. Zwar hatte schon SHERRINGTON 1915 behauptet, daß Reflexe nach häufiger Wiederholung der Reizung oft wegbleiben oder zumindest in ihrer Stärke nachlassen. HOFFMANN fand aber wenige Jahre später (1919) bei Untersuchung der Reflextätigkeit nach Ermüdung des Muskels bzw. des Nervensystems durch intensive, willkürliche Tätigkeit zwischen den Reflexantworten des ausgeruhten und des ermüdeten Muskels keine deutlichen Unterschiede, obgleich er mit einer Frequenz von 50 pro sec. mehrere tausend Reize setzte. Er schloß daraus auf die relative Unermüdbarkeit der Sehnenreflexe.

Eine gegensätzliche Auffassung vertrat KOCH, der 1930 bei Langstreckenläufen feststellte, daß der PSR nach hoher Beanspruchung teils herabgesetzt; teils ganz aufgehoben war. BURGE u. Mitarb. stellten 1936 und WICKWIRE u. Mitarb. 1938 fest, daß die Reizschwelle des PSR sowohl nach körperlicher als auch nach geistiger Arbeit erhöht war und bei Fortdauer der Arbeit weiter anstieg.

SUNG-KEN QUO untersuchte 1949 den PSR und ASR (Achillessehnenreflex) bei 145 körperlich und 160 geistig arbeitenden VP und zwar jeweils nach acht-stündiger Tag- bzw. Nachtschicht. Die Reizschwelle war bei beiden Arten der Belastung sowohl nach der Tag- als auch nach der Nachtschicht für den PSR als auch für den ASR deutlich erhöht. Nach Nachtschichten waren die Reizschwellen darüber hinaus um 10 % höher als nach Tagschichten, was auf eine schon bestehende geringe Ermüdung der Nachtarbeiter bei Schichtbeginn zurückgeführt wurde. Die Tatsache, daß sich nach psychischer wie nach physischer Belastung eine gleichermaßen schwere Schädigung der Reflexe einstellte, sprach für einen zentral nervösen Einfluß der Ermüdung auf die Reflextätigkeit.

Somit stehen die Ergebnisse von KOCH und SUNG-KEN QUO in gewissem Widerspruch zur These Paul HOFFMANN's von der Unermüdbarkeit der Sehnenreflexe, wenngleich dieser Widerspruch weitgehend auflösbar erscheint, wenn berücksichtigt wird, daß durch die Versuchsanordnung bei HOFFMANN ein zentraler Effekt der Ermüdung nicht wirksam werden konnte.

1973 versuchte HETTINGER eine Reflexermüdung bei direkter Reizung des Nerven mit hoher Frequenz nachzuweisen. Er registrierte bei Arbeitern an Druckluft-hämmern die Muskelaktionsströme des Unterarmes und den Hammerweg simultan und beobachtete dabei eine Reizfrequenz bis zu 120 Hz. Bei Beginn der Arbeit wurde jeder durch den Drucklaufhammer bewirkte Reiz mit einem Reflex beantwort-

tet. Nach einer Arbeitszeit von 6 min. nahm die Reflexantwort um ca. 30 % ab. HETTINGER deutete dieses Phänomen als Folge ermüdungsbedingter Verlängerung der Reflexzeit.

Es muß somit im Gegensatz zu HOFFMANN auch von einer peripheren Ermüdbarkeit der Reflexe ausgegangen werden. Der Widerspruch zwischen den Ergebnissen beider Autoren erklärt sich durch die Wahl geringerer Frequenzen in den Versuchen von HOFFMANN.

Nach neueren Auffassungen dürfte es jedoch feststehen, daß die primären Organe der Ermüdung neuro-muskulärer Regulationsmechanismen der Muskel und das zentrale Nervensystem - insbesondere die formatio reticularis - sind (SCHMIDTKE).

Chirurgisch gesetzte Verletzungen der formatio reticularis am Boden des dritten Hirnventrikels zeigen ähnliche Wirkungen wie sie der Schlaf und der Alkohol auf das menschliche Vegetativum haben: es kommt zu Veränderungen der Blutzirkulation der Haut, der Schweißfunktion, der Pulsfrequenz, des Blutdruckes und der gastrointestinalen Sekretion sowie der Peristaltik (MAGOUN).

Danach ist der Effekt des Schlafes und der Ermüdung vergleichbar mit dem Effekt des Alkohols auf die formatio reticularis. Diese erfährt sowohl durch die Ermüdung als auch durch sehr geringe Blutalkoholkonzentration (0,2 - 0,4 g %) eine deutliche Veränderung ihrer Erregbarkeit einzelner Abschnitte im Sinne eines Verlustes der Hemmfunktion auf die Hirnrinde und die Neurone des Rückenmarkes (CASPER).

Über das Verhalten menschlicher Sehnenreflexe bei gleichzeitigem Einfluß von Ermüdung und Alkohol finden sich in der Literatur keine Angaben. Dagegen liegen einige verkehrsmedizinische Arbeiten vor, die sich mit dem Synergismus dieser Noxen auf andere psycho-physische Funktionen befassen. So haben z.B. FORSTER und Mitarb. 1971 die Wirkung von Alkohol und Ermüdung auf die Muskelkoordinationsfähigkeit und den Gleichgewichtssinn des Menschen mit Hilfe des von O. SCHMIDT und GOTTSCHALK 1956 entwickelten Sphallographen untersucht. Die Gleichgewichtsverlagerungen wurden als Schwankungsstärke (Frequenz x Amplitude) gemessen. Sowohl nach Genuß kleiner Alkoholmengen (BAK 0,3 - 0,4 g %) als auch bei geringer Übermüdung waren Amplitude und Frequenz der Schwankungen gedämpft. Bei höherer BAK (0,8 - 1,3 g %) und beim Zusammenwirken von Alkohol und Ermüdung war eine rasche Zunahme der Schwankungsstärke zu beobachten, so daß von den Autoren eine Art Schwellenwert zwischen 0,5 - 0,8 g % postuliert wurde, bei dem die zunächst dämpfende Wirkung des Alkohols auf das Gleichgewichtssystem in ihr Gegenteil umschlägt. Ferner zeigte sich, daß eine durchwachte Nach einen ähnlichen Effekt wie eine BAK von etwa 0,8 g % besitzt.

GRÜNER u. Mitarb. fanden 1965 und 1970 eine biorhythmische Abhängigkeit der Konzentrationsfähigkeit und der Reaktionszeit (im Zwei-Aufgabenversuch) - ähnlich wie RUTENFRANZ und SINGER dieses 1967 für die Geschicklichkeit und die Koordinationsfähigkeit (im Trackingtest) nachweisen konnten. Unter Alkoholeinfluß zeigten die Leistungseinbußen eine entsprechende Abhängigkeit und eine größte Ausprägung bei etwa 3.00 h nachts. Nach GRÜNER entspricht die Leistungsminderung nach einer durchwachten Nacht im Mittel etwa derjenigen, die bei gleicher Versuchsanordnung bei einer BAK von etwa 0,8 ‰ zu beobachten ist; eine Aussage, die mit der von FORSTER u. Mitarb. übereinstimmt.

Die zitierten Ergebnisse haben jedoch insgesamt den Nachteil, daß in sie die Willensleistung der Probanden miteingeht, und somit ihre Vergleichbarkeit erschwert ist, wengleich eingeräumt werden muß, daß die Willensseite einen bedeutsamen verkehrsmedizinischen Faktor darstellt. Um besser vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, erschien es uns deswegen sinnvoller, unter submaximalen Anforderungen an die VP neuro-muskuläre Regulationsmechanismen zu überprüfen, die der Willenslage weitgehend entzogen sind. Wir haben es deswegen in der vorliegenden Arbeit unternommen, Art und Umfang der Veränderung im Verhalten einiger Sehnenreflexe (Eigenreflexe) des Menschen unter dem Einfluß von Alkohol und Ermüdung sowie beider Faktoren zu überprüfen. Es interessierte u.a. dabei die Frage, ob der Synergismus von Alkohol und Ermüdung - wie häufig angenommen wird - in einem potenzierenden Effekt auf psycho-physische Funktionen besteht, oder ob es sich um eine reine Addition der Wirkung beider Faktoren handelt, und ferner, inwieweit sich der Alkohol und die Übermüdung in ihrer Wirkung auf das Reflexverhalten überhaupt vergleichen lassen.

Berücksichtigt man, daß ganz gewöhnliche Bewegungsabläufe mit Regelmäßigkeit Eigenreflexe auslösen, und daß unsere Willkürbewegungen nur im Zusammenspiel mit zahlreichen Reflexen erfolgen (HOFFMANN, 1918), so ist die Bedeutung der Eigenreflexe für unsere Bewegung evident. Schließlich führen auch exogene Störungen des Muskels - wie z.B. Vibrationen - zu einer Veränderung der Muskelinnervation insofern, als jede Schwingung einen Reflex auslöst (HOFFMANN, 1928).

Aufgrund derartiger Überlegung erweist sich u.E. das verkehrsmedizinische Interesse an den vorliegenden Untersuchungen insofern, als bei der Bedienung eines Kraftfahrzeuges neuro-muskuläre Koordinationen, die Reflextätigkeit und Verhaltensautomatismen eine besondere Beanspruchung erfahren.

Ferner sollte der Zusammenhang zwischen dem Alkoholisierungsgrad und der menschlichen Reflextätigkeit exakt überprüft werden, da bisher infolge fehlerhafter oder methodisch mangelhafter Alkoholbestimmung vergleichbare Ergebnisse in nur geringem Umfange vorliegen.

METHODE

Um den Patellarsehnenreflex (PSR) auszulösen und gleichzeitig seine mechanische Reizschwelle zu bestimmen, wurde ein eigens hierfür entwickeltes Gerät (JOACHIM und WEYER) in Anlehnung an SUNG-KEN QUO verwandt (Abb. 1).

In der Mitte einer Scheibe mit üblicher Winkeleinteilung ist ein Reflexhammer befestigt, dessen Position auf jede beliebige Winkelgröße eingestellt werden kann. Unterhalb der Scheibe befindet sich eine schalenartige Konstruktion zur Auflage des Beines der VP. Zu Beginn einer Versuchsserie wird die Scheibe mit dem bei 0° fixierten Hammer so eingestellt, daß der Kopf des Reflexhammers bei jeder VP auf dem Punkt der Patellarsehne liegt, der als die empfindlichste Stelle zur Auslösung des PSR ausgetestet worden ist. Der Hammer wird dann von einem bestimmten Winkel zur Auslösung des Reflexes auf die Sehne fallengelassen.

Nach dem Gesetz von der Erhaltung der mechanischen Energie ist die Bewegungsenergie des Hammers E_{kin} gleich der Lageenergie desselben auf der Sehne E_{pot} .

Ferner sollen " θ " der Winkel, von dem aus der Hammer auf die Sehne fällt, " l " die Länge des Hammers, " m " das Gewicht des Hammers, " v " die Geschwindigkeit des Hammers und " g " die Erdbeschleunigung sein.

Folgende Gleichung ist aufzustellen:

$$E_{\text{kin}} = 1/2 m \cdot v^2 \quad \text{und} \quad E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

Dementsprechend ist:

$$1/2 m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$$

oder

$$v^2 = 2 \cdot g \cdot h$$

Die vertikale Fallhöhe des Hammers ist:

$$h = l \cdot \sin \theta$$

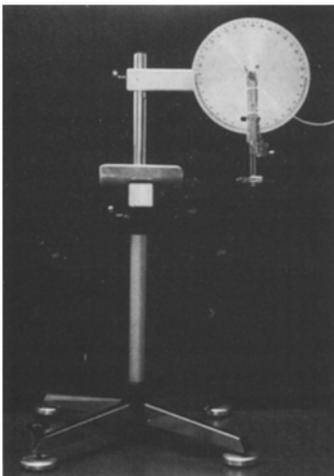


Abb. 1. "Winkelreflexgerät" nach JOACHIM und WEYER zur objektiven Bestimmung der mechanischen Reizschwelle des PSR

Dann gilt:

$$v^2 = 2 \cdot g \cdot l \cdot \sin \theta$$

Der Kraftstoß, der auf die Sehne wirkt, um einen Reflex auszulösen, ist nach der NEWTON'schen Grundgleichung

$$K = m \cdot b \quad \text{oder} \quad K = m \cdot \frac{v}{t}$$

Setzt man in diese Gleichung den oben errechneten Ausdruck für "v" ein, so ergibt sich:

$$K = m \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot l \cdot \sin \theta}}{t}$$

Während der Versuche waren "m", "g" und "l" konstante Größen. Die Unterschiede in der Fallzeit (t) des Hammers waren bei den verschiedenen Fallhöhen sehr gering, daß sie vernachlässigt werden konnten. Daher kann "t" ebenfalls als konstant angesehen werden. Die Reizstärke K ist also praktisch alleinige Funktion des Fallwinkels. Folglich kann der Fallwinkel als Maß des Schwellenwertes angesehen werden.

Zur Auslösung des Biceps-Sehnenreflexes (BSR) und des Radiusperiostreflexes (RPR) wurde ein normaler Reflexhammer verwandt. Der Kraftaufwand zur Auslösung dieser Reflexe konnte somit nicht exakt bestimmt werden, sodaß lediglich die Latenzzeit der beiden Reflexe gemessen wurde.

Die Registrierung der muskulären Antwort des Reflexes erfolgte durch Ableitung der Muskelaktionsströme mittels auf der Haut befestigter Plattenelektroden und der Darstellung der Ströme im Kathodenstrahloszillographen. Die Elektroden wurden an den motorischen Punkten des Muskels quadriceps femoris nach WALTHARD und TCHICALOFF angelegt. Die VP und das Reflexgerät waren geerdet. Durch einen am Reflexhammer befindlichen kleinen Kippschalter (Abb. 2) wurde bei Auftreffen des Hammers auf die Sehne der Kipp im Oszillographen ausgelöst. Auf diese Weise wurde verhindert, daß Erschütterungen des Beines durch den mechanischen Reiz als Artefakt im Kipp erschienen.

Die Abb. 3 zeigt im oberen Kipp die Ableitung der muskulären Antwort des PSR einer nüchternen und ausgeruhten VP. Im unteren Kipp findet sich die Zeiteichung hier mit 10 msec/cm. Als Latenzzeit des Reflexes gilt im oberen Kipp die Strecke von Kippbeginn bis zum Auftreten des Aktionsstromes.

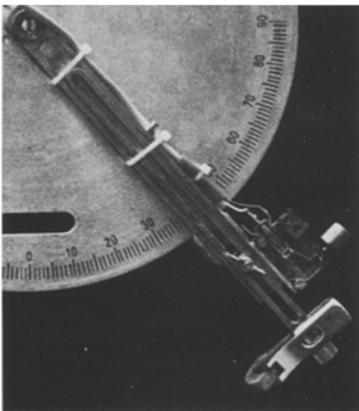


Abb. 2. Reflexhammer und Kippschalter (s. Text)

Die Dauer des Stromes entspricht der Reaktionsdauer des Muskels. Diese ließ sich nach Reizung des PSR ohne Schwierigkeiten bestimmen, da der Oberschenkel durch das eigens hierfür entwickelte Gerät auf der oben beschriebenen schalenartigen Stütze ruhig auflag, und dadurch eine vollständige Ausschaltung willkürlicher Reaktionen möglich war, wodurch vergleichbare Werte gewonnen werden konnten.

Nach Reizung des BSR oder RPR ließ sich die Kontraktionszeit nicht immer eindeutig bestimmen, da für den Unterarm ein entsprechendes Winkelgerät wie für das Bein nicht zur Verfügung stand, und somit die rein reflektorische Antwort des Muskels durch Willkürbewegungen in der Endphase z.T. überlagert oder überhaupt verlängert wurde, wie dies auf Abb. 4 ersichtlich ist.

Das Versuchskollektiv bestand aus 21 männlichen Studenten im Alter von 23 bis 27 Jahren. Alle VP hatten eine unauffällige Anamnese und waren klinisch o.B. Sie zeigten bis auf zwei Ausnahmen ein lebhaftes Reflexverhalten und waren

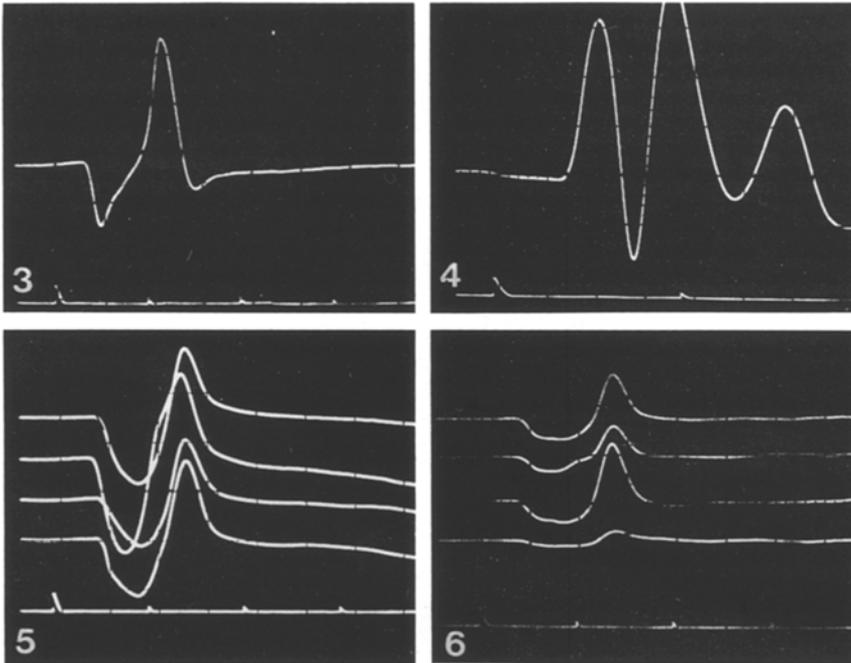


Abb. 3. Aktionsstromkurve des M. quadriceps femoris einer nüchternen, ausgeruhten VP

Abb. 4. Muskuläre Antwort nach Reizung des RPR bei einer nüchternen, aber ermüdeten VP mit Überlagerung durch Willkürbewegungen

Abb. 5. Muskuläre Antwort des PSR einer nüchternen und ausgeruhten VP. Die Reflexzeiten betragen 16, 15, 16, 16 msec

Abb. 6. PSR der VP wie auf Abb. 5 bei 0,97 g%o in der Eliminationsphase. Die Reflexzeiten betragen hier 17, 17, 16, 17 msec. Die Aktionsstrombilder sind abgeflacht, ausgezogen und verformt

alle Alkohol gewöhnt. Die letzte Nahrung hatten sie etwa sechs Stunden vor Versuchsbeginn zu sich genommen, die letzte Alkoholaufnahme lag mindestens 20 - 24 Stunden zurück.

Die Untersuchungen wurden in Tag- und Nachtversuche aufgeteilt. Bei den Nachtversuchen galt als Voraussetzung, daß die VP einen Arbeitstag und eine Zeit von mindestens 18 - 20 Stunden der Schlaflosigkeit hinter sich hatten.

Die Alkoholbelastung der VP erfolgte mit 1,0 g Alkohol pro kg Körpergewicht. Der Alkohol wurde in Form von einer Flasche Bier (0,3 l) sowie je nach Gewicht in Form von Wodka verabreicht. Bei den Tagversuchen wurde nach Überprüfung der Reflexe im Nüchternzustand zunächst eine Flasche Bier gereicht und der Wodka auf drei Trinkphasen zu jeweils 15 min. gleichmäßig verteilt. Nach jeder dieser Trinkphasen erfolgte eine Blutentnahme und die Überprüfung der Reflexe. Zwischen den Trinkzeiten lagen wiederum 15 Minuten. Nach dem letzten Alkoholgenuß wurde eine Pause von 45 min. eingelegt. Es erfolgte nun die vierte Blutentnahme (BE) mit anschließender Prüfung der Reflexe und nach weiterer 45-min. Pause die 5. BE mit den entsprechenden Untersuchungen. Die Nachtversuche fanden an den gleichen Wochentagen wie die Tagversuche statt, um eine möglichst vergleichbare Disposition zu gewährleisten (GRÜNER). Bei diesen Versuchen wurden die entsprechenden Alkoholmengen hintereinander innerhalb von etwa einer Stunde getrunken. 30 min. nach Trinkende erfolgte die erste BE mit anschließender Prüfung der Reflexe und nach einer weiteren Pause von 60 min. die 2. BE mit den entsprechenden Untersuchungen. In unseren Versuchen ist somit Ermüdung als Zustand nach kontinuierlichem Wachsein von etwa 20 - 22 Std. zu definieren. Allerdings wurde sie subjektiv nicht empfunden und war nur als Störung der Reflexe faßbar.

Zur Auswertung gelangten lediglich die Untersuchungsergebnisse bei BAK von 0,8 - 0,9 g % in der Eliminationsphase. Die Ergebnisse, die in der Resorptionsphase gewonnen wurden, bzw. ein Vergleich dieser Ergebnisse mit den Ergebnissen in der Eliminationsphase, sind mit anderen Reflexuntersuchungen einer weiteren Veröffentlichung vorbehalten.

Aufgrund einer verlängerten Resorptionszeit mußten die Ergebnisse von 4 VP und, wegen unerwartet hoher BAK, die von zwei weiteren VP bei der Auswertung ausscheiden. Insgesamt wurden somit die Befunde von 15 VP berücksichtigt.

Die Durchschnittswerte der Schwellenwerte, der Reflexzeiten und der Muskelkontraktionszeiten wurden einem statistischen Vergleich mittels des t-Testes unterzogen, nachdem sichergestellt war, daß die Streuung der Einzelwerte der GAUSS'schen Verteilungskurve entsprachen.

ERGEBNISSE

Die Tabelle 1 zeigt die Alkoholwerte der 15 zur Auswertung gelangten VP - aufgeteilt nach Tag- und Nachtversuchen. Bei sämtlichen der Werte handelt es sich um BAK in der Eliminationsphase.

Tabelle 1. Die Alkoholwerte in g %

	Tagversuch	Nachtversuch
VP 3	0,81	0,71
4	0,92	0,63
5	0,97	0,48
6	0,96	0,82
9	0,90	0,88
10	0,87	0,67
12	0,86	0,81
13	0,92	1,25
14	0,88	0,72

	Tagversuch	Nachtversuch
VP 15	1,05	0,79
16	0,70	0,77
17	0,76	0,69
18	0,97	0,74
19	0,78	0,88
20	0,96	0,93
n = 15	$\bar{X} = 0,88$	$\bar{X} = 0,78$

Somit betrug der durchschnittliche Alkoholwert im Tagversuch 0,88 g‰ ($s = 0,02$ g‰) und im Nachtversuch 0,78 g‰ ($s = 0,04$ g‰).

Auf Tabelle 2 finden sich die Werte, die den Fallwinkel des Reflexhammers in Graden angeben, der erforderlich war, um den mechanischen Schwellenwert des PSR zu erreichen - mithin ihn gleichsam ausdrückt (s.oben). Die mitgeteilten Werte könnten auch als "Schwellenwinkel" bezeichnet werden.

Tabelle 2. *Schwellenwerte des PSR in Winkelgraden*

	nüchtern	Alkohol	Ermüdung	Erm. + Alk.
VP 3	39	40	45	48
4	42	48	48	53
5	30	34	36	38
6	30	38	35	42
9	35	39	38	44
10	43	50	51	58
12	25	30	30	34
13	42	54	51	60
14	25	34	32	40
15	38	50	44	48
16	42	50	50	55
17	42	51	50	60
18	33	38	40	43
19	33	45	43	58
20	25	30	30	33
u= 15	$\bar{X} = 34,93$	42,07	41,53	47,60

In den Tabellen 3, 4 und 5 sind die Reflexzeiten des PSR, des BSR und des RPR aufgeführt. Sie verlängern sich sowohl unter dem Einfluß von Ermüdung als auch unter dem von Alkohol. Die Kombination von beiden Faktoren bewirkt eine nochmalige Verlängerung.

Aufgrund der bloßen Übersicht über die Werte ist erkennbar, daß der "Schwellenwinkel" zwischen dem Nüchtern- und dem Alkoholkollektiv sich deutlich unterscheidet, während eine relativ gute Übereinstimmung zwischen dem Kollektiv der Alkoholierten und der Ermüdeten besteht. Beim Zusammenwirken von Alkohol und Ermüdung findet sich ein nochmaliger Anstieg.

Tabelle 3. Latenzzeiten des PSR in msec.

	nüchtern	Alkohol	Ermüdung	Erm. + Alk.
VP 3	15,25	16,75	17,67	18,00
4	14,00	14,75	16,34	17,00
5	12,00	13,67	15,50	17,00
6	14,00	15,00	15,50	16,00
9	16,00	16,75	17,00	19,00
10	14,67	16,00	16,25	17,00
12	15,25	16,67	17,00	17,75
13	16,00	18,67	18,00	19,00
14	15,00	15,50	15,50	18,00
15	16,00	17,67	16,00	19,00
16	18,00	18,75	18,00	18,75
17	18,00	20,00	18,00	19,67
18	15,75	17,75	16,00	17,00
19	14,75	15,00	15,00	17,00
20	15,50	16,00	15,00	16,50
n = 15	\bar{X} = 15,34	16,59	16,45	17,11

Tabelle 4. Latenzzeiten des BSR in msec. (Bei VP 13 war der BSR nicht auszulösen)

	nüchtern	Alkohol	Ermüdung	Erm. + Alk.
VP 3	12	12	13	13,5
4	12	10	12	12
5	10	11,5	11	12
6	11	12	11	13,5
9	10	12	11	13
10	11	14	14	14
12	11	12	12	13,5
13	-	-	-	-
14	11	12	13	14
15	10	10	11	11
16	13	12	12,5	13
17	12	13	12	13
18	10	11	12	12,5
19	9	12	12	12,5
20	10	12	12	12,5
n = 14	\bar{X} = 10,86	11,82	12,04	12,86

Die Kontraktionszeiten des Musculus quadriceps femoris bei Auslösung des PSR zeigt Tabelle 6.

Die Abb. 7 und 8 zeigen das Verhalten des BSR. Auf Abb. 7 findet sich der Befund einer nüchternen, ausgeruhten VP.

Auf Abb. 8 findet sich der Befund einer VP in ermüdetem Zustand nach Alkoholgenuß. Die Reflexzeit erfährt eine Verlängerung von 10 (Abb. 7) auf 12,5 msec. (Abb. 8).

Tabelle 5. Latenzzeiten des RPR in msec.

	nüchtern	Alkohol	Ermüdung	Erm. + Alk.
VP 3	14	14	12	12
4	10	11	11	11
5	10	13	12	13
6	12	12	11	12
9	12	12	11	12
10	10	11	11	13
12	11	13,5	14	15
13	10	11	12,5	14
14	12	12,5	12	14
15	11	11,5	12	13
16	10	12,5	12,5	14
17	10	12	11,5	13
18	10	11	11	12
19	10	10,5	10,5	11
20	11	12	12	13
u = 15	$\bar{X} = 10,87$	11,97	11,73	12,80

Tabelle 6. Reaktionsdauer des M. quadriceps f. in msec.

	nüchtern	Alkohol	Ermüdung	Erm. + Alk.
VP 3	24	27	25	27
4	20	21	27	28
5	26	26	25	27
6	20	21	25	26
9	23	25	26	28
10	22	23	25	28
12	23	24	27,5	24
13	22	23	25	28
14	20	24	25	25
15	23	23	25	24
16	20	24	22	24
17	21	21	22	23
18	24	25	25	26
19	23	24	24	24
20	25	26	26	25,5
u = 15	$\bar{X} = 22,4$	23,8	25,0	25,8

Die "Schwellenwinkel" des PSR zeigten in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen folgende Durchschnittswerte und Streubereiche:

Gruppe "nüchtern": 34,93 (s = 6,78)

Gruppe "Alkohol" : 42,07 (s = 8,12)

Gruppe "Ermüdung": 41,53 (s = 7,70)

Gruppe "Erm.+Alk!": 47,60 (s = 9,34)

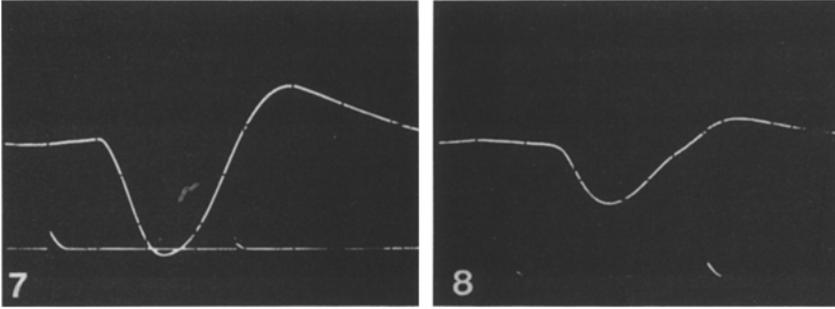


Abb. 7. Muskuläre Antwort nach Reizung des BSR, VP nüchtern

Abb. 8. Muskuläre Antwort des BSR, derselben VP wie auf Abb. 7 aber ermüdet und alkoholisiert

Der statistische Vergleich der Ergebnisse mittels des t-Testes findet sich auf Tabelle 7.

Tabelle 7. (s. Text)

	nüchtern	Alkohol	Ermüdung	Erm. + Alk.
nü- ch- tern		t=2,6123 n=28 p=0,005	t=2,4915 n=28 p=0,01	t=4,261 n=28 p=0,0005
Al- ko- hol	t=2,6123 n=28 p=0,005		t=0,1834 n=28 p=0,45	t=1,7337 n=28 p=0,05
Er- mü- dung	t=2,4915 n=28 p=0,01	t=0,1834 n=28 p=0,45		t=1,9410 n=28 p=0,025
Erm. + Alk.	t=4,2618 n=28 p=0,0005	t=1,7337 n=28 p=0,05	t=1,9410 n=28 p=0,025	

Abb. 9 zeigt die graphische Darstellung der durchschnittlichen Schwellenwerte des PSR und ihrer Streubereiche in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen.

Nach den Signifikanzschranken der Student-Verteilung (Tab. 7) ergeben sich signifikante Unterschiede ($p = 0,005$, bzw. $0,01$) zwischen den "Nüchtern"-Werten einerseits und den "Alkohol"- und "Ermüdungs"-Werten andererseits.

Ein hochsignifikanter Unterschied findet sich ferner zwischen der "Nüchtern"-Gruppe und der Gruppe "Ermüdung + Alkohol". Dagegen zeigen die Gruppen "Alkohol" und "Ermüdung" fast identische Werte. Der Vergleich dieser beiden Gruppen mit dem Kollektiv "Ermüdung + Alkohol" läßt wiederum signifikante Unterschiede ($p = 0,05$ bzw. $0,025$) erkennen.

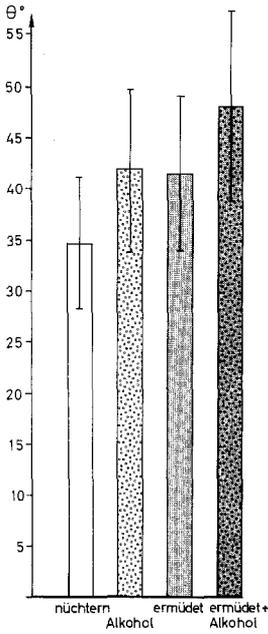


Abb. 9. Durchschnittliche Schwellenwerte des PSR ausgedrückt in Winkelgraden mit den entsprechenden Streubereichen

Die Mittelwerte und die dazugehörigen Streuungen der Reflexzeiten des PSR der einzelnen Gruppen betragen:

Gruppe "nüchtern" : 15,34 (s = 1,59) msec.

Gruppe "Alkohol" : 16,59 (s = 1,73) msec.

Gruppe "Ermüdung" : 16,45 (s = 1,09) msec.

Gruppe "Erm.+Alk!" : 17,11 (s = 1,09) msec.

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung finden sich auf Tabelle 8.

Tabelle 8. (s. Text)

	nüchtern	Alkohol	Ermüdung	Erm. + Alk.
nü- ch- tern		t=2,3112 n=28 p=0,025	t=2,3112 n=28 p=0,0125	t=5,0804 n=28 p=0,0005
Al- ko- hol	t=2,1312 n=28 p=0,025		t=0,2834 n=28 p=0,40	t=2,2292 n=28 p=0,0125
Er- mü- dung	t=2,3112 n=28 p=0,0125	t=0,2834 n=28 p=0,40		t=3,3113 n=28 p=0,0025
Erm. + Alk.	t=5,0804 n=28 p=0,0005	t=2,2292 n=28 p=0,0125	t=3,3113 n=28 p=0,0025	

Signifikante Unterschiede finden sich auch hier zwischen der Gruppe "nüchtern" einerseits und den Gruppen "Alkohol" und "Ermüdung" andererseits, und hochsignifikante Veränderungen gegenüber der Gruppe "Ermüdung + Alkohol". Die Gruppen "Alkohol" und "Ermüdung" zeigen wiederum fast gleiche Ergebnisse.

Die Mittelwerte und ihre Streuungen für die Reflexzeiten des RPR waren:

Gruppe "nüchtern" : 10,87 (s = 1,18) msec.
 Gruppe "Alkohol" : 11,97 (s = 1,01) msec.
 Gruppe "Ermüdung" : 11,73 (s = 0,89) msec.
 Gruppe "Erm.+Alk!" : 12,80 (s = 1,15) msec.

In Tabelle 9 findet sich die statistische Auswertung.

Tabelle 9. (s. Text)

	nüchtern	Alkohol	Ermüdung	Erm. + Alk.
nü- ch- tern		t=2,7274 n=28 p=0,005	t=2,2553 n=28 p=0,01	t=4,5206 n=28 p=0,0005
Al- ko- hol	t=2,7274 n=28 p=0,005		t=0,6654 n=28 p=0,25	t=2,1348 n=28 p=0,025
Er- mü- dung	t=2,2553 n=28 p=0,01	t=0,6654 n=28 p=0,25		t=2,8498 n=28 p=0,005
Erm. + Alk.	t=4,5206 n=28 p=0,0005	t=2,1348 n=28 p=0,025	t=2,8498 n=28 p=0,005	

Die Mittelwerte und ihre Streubereiche für die Reflexzeiten des BSR:

Gruppe "nüchtern" : 10,86 (s = 1,09) msec.
 Gruppe "Alkohol" : 11,82 (s = 1,03) msec.
 Gruppe "Ermüdung" : 12,04 (s = 0,89) msec.
 Gruppe "Erm.+Alk!" : 12,86 (s = 0,82) msec.

Die statistische Auswertung findet sich in Tab. 10

Wie aus den Tabellen 9 und 10 hervorgeht, liegen zwischen den einzelnen Gruppen der Reflexzeiten des RPR und des BSR die gleichen signifikanten Veränderungen vor wie sie schon am Material über den PSR aufgezeigt werden konnten.

Auf Abb. 10 ist zur Verdeutlichung der Verhältnisse die graphische Darstellung der Reflexzeiten der drei Eigenreflexe in Abhängigkeit von den verschiedenen Versuchsbedingungen wiedergegeben.

Tabelle 10. (s. Text)

	nüchtern	Alkohol	Ermüdung	Erm. + Alk.
nüchtern		t=2,3836 n=26 p=0,0125	t=3,1204 n=26 p=0,0025	t=5,3452 n=26 p=0,0005
Alkohol	t=2,3836 n=26 p=0,0125		t=0,6047 n=26 p=0,30	t=2,8420 n=26 p=0,005
Ermüdung	t=3,1204 n=26 p=0,0025	t=0,6047 n=26 p=0,30		t=2,4117 n=26 p=0,01
Erm. + Alk.	t=5,4352 n=26 p=0,0005	t=2,8420 n=26 p=0,005	t=2,4117 n=26 p=0,01	

Die Reflexzeiten von RPR und BSR der einzelnen Gruppen erweisen sich stets um etwa 4,5 - 5 msec. verkürzt gegenüber denen des PSR. Diese Tatsache ist bekanntermaßen auf die unterschiedliche Länge der Reflexwege bzw. der beteiligten Nervenbahnen zurückzuführen.

Bei der Bestimmung der Kontraktionszeiten M. quadriceps f. fanden sich folgende Mittelwerte und Streuungen:

- Gruppe "nüchtern" : 22,4 (s = 1,92) msec.
- Gruppe "Alkohol" : 23,8 (s = 1,86) msec.
- Gruppe "Ermüdung" : 25,0 (s = 1,49) msec.
- Gruppe "Erm.+Alk!" : 25,8 (s = 1,77) msec.

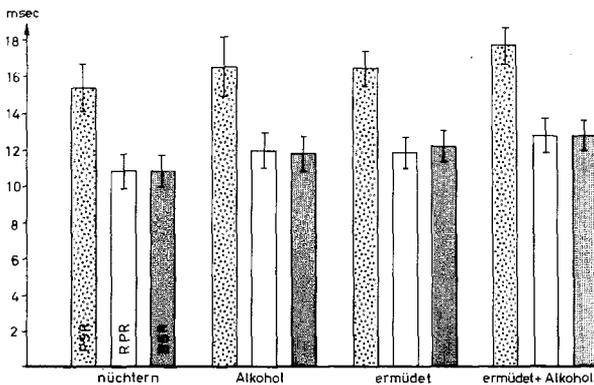


Abb. 10. Durchschnittswerte der Reflexzeiten von PSR, RPR und BSR

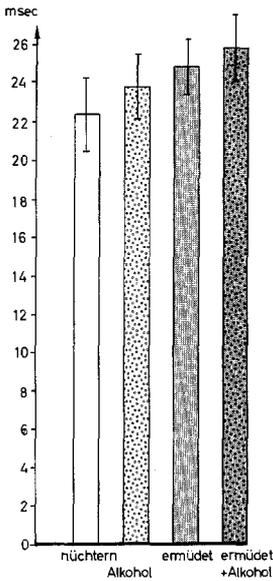


Abb. 11. Graphische Darstellung der durchschnittliche Reaktionsdauer des M. quadriceps f. mit den entsprechenden Streubereichen

Tabelle 11 gibt die statistische Auswertung wieder und zeigt mit einem p von 0,025 einen signifikanten Unterschied zwischen der "Nüchtern"-Gruppe und der "Alkohol"-Gruppe. Ferner sind hochsignifikante Unterschiede ($p = 0,005$) zwischen der "Nüchtern"-Gruppe und der Gruppe der "Ermüdung" sowie der Gruppe der "Ermüdung + Alkohol" erkennbar.

Tabelle 11. (s. Text)

	nüchtern	Alkohol	Ermüdung	Erm. + Alk.
nü- ch- tern		t=2,0284 n=28 p=0,025	t=4,0694 n=28 p=0,0005	t=5,0871 n=28 p=0,0005
Al- ko- hol	t=2,0284 n=28 p=0,025		t=1,8802 n=28 p=0,05	t=3,0621 n=28 p=0,0025
Er- mü- dung	t=4,0694 n=28 p=0,0005	t=1,8802 n=28 p=0,05		t=1,4523 n=28 p=0,10
Erm. + Alk.	t=5,0871 n=28 p=0,0005	t=3,0621 n=28 p=0,0025	t=1,4523 n=28 p=0,10	

Keine signifikanten Veränderungen fanden sich dagegen beim Vergleich kollektive "Alkohol" und "Ermüdung" sowie "Ermüdung" und "Ermüdung + Alkohol".

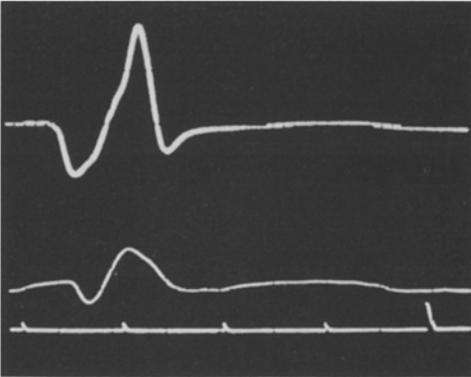


Abb. 12. Aktionsstromkurven des m. quadriceps f. in ausgeruhtem (oben) und ermüdetem Zustand (Mitte)

Abb. 12 zeigt zwei Aktionsstromkurven des quadriceps f. von denen der obere Kipp die Muskelaktion im ausgeruhten Zustand und der mittlere Kipp die des ermüdeten Muskels wiedergibt. Charakteristisch für die Aktionsstromkurve des frischen Muskels ist, daß sie am Ende der 2. Phase mit einem ziemlich scharfen Knick in die Ruhelage einbiegt. Bei Ermüdung dagegen wird die 2. Phase flacher und gedehnter, sodaß die Kurve bei stärkerem Grade der Ermüdung sogar als monophasisch erscheinen kann. Ferner können durch die verschieden starke Beeinflussung der einzelnen Fasergruppen des Muskels Interferenzen der Aktionsströme entstehen, was zu einer Verformung des Strombildes führt (HOFFMANN).

DISKUSSION

Methodisch weisen unsere Untersuchungen im Vergleich mit bekannten Ergebnissen über die Alkoholwirkung auf die Reflexe den entscheidenden Unterschied auf, daß eine genaue Bestimmung der BAK durch die spezifische Methode der Gaschromatographie erfolgte, und dadurch die Möglichkeit gegeben war, die Parameter des Reflexverhaltens in enge Korrelation zur Höhe der BAK zu setzen. Ferner wurden die Ergebnisse an einem ziemlich großen menschlichen Kollektiv gewonnen und schließlich auch neben der Latenz- und Kontraktionszeit der mechanische Schwellenwert des PSR objektiv bestimmt.

Die Diskussion der auf diese Weise gewonnenen relativ klaren Ergebnisse hat jedoch komplizierte neurophysiologische Zusammenhänge zu berücksichtigen, sodaß mitunter eine klare Deutung der Phänomene nicht möglich ist. Es sollen deswegen besonders die verkehrsmedizinischen Aspekte der Versuche hervorgehoben werden.

Der Vergleich unserer Ergebnisse mit denen von DODGE und BENEDICT sowie MILES zeigt, daß unter reiner Alkoholwirkung mit einer Verlängerung der Reflexzeit der Sehnenreflexe von durchschnittlich etwa 7 % zu rechnen ist. Ein engerer Bezug zu den Resultaten dieser Autoren ist nicht herzustellen, da bei ihnen eine Bestimmung der BAK sowie genaue Meßwerte der Reflexe fehlen.

Die Versuche von KOLMODIN und MEGIRIAN u. Mitarb. an äthernarkotisierten Katzen dürfen in diesem Zusammenhang nicht nur wegen der Fragwürdigkeit, derartiger Ergebnisse auf menschliche Verhältnisse zu übertragen, außer Acht gelassen werden, sondern auch deswegen, weil sie am absterbenden Muskel durchgeführt wurden, und ein langsamens Absinken der Aktionsströme durch eine hypoxämische Schädigung der Zellenmembranen die Ergebnisse beeinflusst haben dürfte. Ferner ist zu berücksichtigen, daß die Alkoholbestimmung mit der unspezifischen Methode nach WIDMARK erfolgte, und somit ein Einfluß einer gewissen Blutätherkonzentration auf das Untersuchungsergebnis nicht ausgeschlossen erscheint. Kaum verwertbar sind auch die Angaben von TRAVIS und DORSEY, die bei nur vier VP ebenfalls keine Bestimmung der BAK durchführten. Interessant ist hier jedoch die Unterscheidung von zwei Phasen der Alkoholwirkung durch diese Autoren, wonach eine erste oder auch Exzitationsphase, in der sowohl die Reflexzeit als auch die Dauer der Muskelantwort abnimmt, von einer zweiten Phase mit Verlängerung beider Parameter abgegrenzt wird. Auf Grund der angegebenen Trinkmengen darf geschlossen werden, daß der ersten Phase eine sehr geringe BAK in einem Bereich von etwa 0,2 - 0,3 g%o und der zweiten Phase Werte von etwa 0,4 - 0,6 g%o entsprechen. Werte von 0,8 g%o wurden sicher nicht überschritten. Die Untersuchungsergebnisse der 2. Phase sind wegen ähnlich hoher BAK mit unseren Feststellungen vergleichbar und unterstützen diese.

Betrachtet man unsere Ergebnisse unter dem Gesichtspunkt des Einflusses der Ermüdung auf das Reflexverhalten, so konnten im wesentlichen die Theorien von SUNG-KEN QUO und HETTINGER bestätigt werden, die im Gegensatz zu HOFFMANN eine Ermüdbarkeit der Reflextätigkeit nachweisen konnten. Gleichermaßen wie SUNG-KEN QUO konnten wir eine Erhöhung der Reizschwelle bei Ermüdung für den PSR sehen. Die Differenz der "Schwellenwinkel" vor und nach Arbeitsbelastung betrug bei SUNG-KEN QUO $11,25^{\circ}$, sie lag hier bei $10,5^{\circ}$. Mithin stiegen ähnlich wie unter Alkoholeinfluß die Schwellenwerte um etwa 5 % bei Ermüdung an, wobei Ermüdung in den vorliegenden Versuchen als Zustand nach 20 - 22stündigem Wachsein bei üblicher Belastung definiert ist.

Ebenso konnte die Vermutung von HETTINGER bestätigt werden, daß die abnehmende Reflexhäufigkeit während einer Belastungsperiode auf einer verlängerten Latenzzeit beruhe. Wir fanden bei Ermüdung eine durchschnittliche Verlängerung

der Reflexzeit des RPR um durchschnittlich 0,9, des PSR um 1,1 und des BSR um durchschnittlich 1,0 msec. Erstmals konnte auch eine Verlängerung der Kontraktionszeiten des Muskels nach Reizung des PSR um durchschnittlich 2,5 msec. bei ermüdeten Personen nachgewiesen werden. Beim Vergleich der Alkoholwirkung mit der Ermüdung finden sich ganz ähnliche Ergebnisse wie die von FORSTER u. Mitarb. und GRÜNER u. Mitarb. Es war auffallend, daß nach etwa 20 - 22 stündigem Wachsein der Ermüdungseffekt das Reflexverhalten in fast genau demselben Umfange beeinflusste wie bei einer ausgeruhten Person unter Alkoholeinfluß in Höhe einer BAK von etwa 0,8 g‰.

Insbesondere entsprechen diese Ergebnisse den GRÜNER'schen in bemerkenswerter Weise, sodaß eine vergleichbare Schädigung sowohl durch Alkohol als auch durch Ermüdung auf die psychische Funktion wie auch auf das Reflexverhalten angenommen werden muß und durch die vorliegenden Versuche infolge Ausschaltung der Willenskomponente klar zu objektivieren war.

Ferner konnten wir zeigen, daß es nicht - wie so häufig behauptet wird - durch das Zusammenwirken von Ermüdung und Alkohol zu einem potenzierenden Effekt auf bestimmte zentral-nervöse Abschnitte kommt, sondern daß verkehrsmedizinisch relevante Werte um 0,8 g‰ zusammen mit der Ermüdung eine reine Additionswirkung beider Einflüsse zur Folge haben. Es ist natürlich denkbar, daß bei höheren BAK sich die Verhältnisse hinsichtlich einer Vergleichbarkeit der Alkoholwirkung und Ermüdung anders darstellen.

Versucht man den physiologischen Angriffspunkt dieser Schädigung im Reflexbogen zu erklären, so ergeben sich aus den eingangs erörterten Vorstellungen anderer Autoren keine endgültigen Deutungsmöglichkeiten. Durch unsere Ergebnisse liegt es nahe anzunehmen, daß Alkohol und Ermüdung wahrscheinlich in annähernd gleicher Weise und vielleicht am selben Ort des Reflexmechanismus angreifen. Im Hinblick auf die zentralnervöse, exzitatorische Wirkung von geringen Alkoholdosen ist zunächst an eine Beeinträchtigung der hemmenden Zentren in der *formatio reticularis* zu denken, wie dies schon ISHIDO forderte. Über diese Wirkung könnte es bei geringeren BAK, als wir sie im Versuch erzeugten, zu einer Verkürzung von Reflex- und Kontraktionszeit und zu einer Erhöhung des Muskeltonus kommen. Hierfür sprechen die Ergebnisse von TRAVIS und DORSEY sowie von IKEMUNE. Auch FORSTER u. Mitarb. fanden bei kleinen BAK zunächst eine Dämpfung der Schwankungsstärke der VP auf dem Sphallographen, was für eine gesteigerte muskuläre Feinregulation infolge Wegfalles des "depressant effect" der *formatio reticularis* sprechen könnte. Bei steigenden Alkoholwerten dürften die Beeinträchtigung der fördernden Zentren der *formatio reticularis* und eine direkte Wirkung auf die motorischen Rückenmarkszellen (ISHIDO) durch

entsprechende Veränderungen im Reflexablauf zu einer Erhöhung der Schwellenwerte führen.

In diesem Stadium könnte auch die von MAYER-LOHMANN diskutierte exzitierende Wirkung des Alkohol auf die RENSHAW-Zellen über einen negativen Rückkopplungseffekt eine zusätzliche Hemmung der motorischen Neuronen des Rückenmarks bewirken, was sich in einer Erhöhung des Schwellenwertes des Reflexes ausdrücken würde.

Ohne Zweifel muß aber unabhängig von zentral-nervösen Mechanismen auf eine ubiquitäre Schädigung der Zelltätigkeit des Nervensystems sowie der Skelettmuskulatur durch Alkohol bzw. Ermüdung geschlossen werden. Auf die zahlreichen Untersuchungen zu dieser Frage, bei der auch Einflüsse auf die Herz- und Kreislauf-tätigkeit und die Atmung eine Rolle spielen, kann hier nicht eingegangen werden. Im Rahmen unserer Fragestellung interessiert im engeren Sinne der Effekt der Ermüdung auf das Reflexverhalten als Teilaspekt der neuromuskulären Koordination. Zur Erklärung der Phänomene einer verlängerten Reflex- und Muskelkontraktionszeit ist offenbar ein direkter Einfluß der Alkoholwirkung und der Übermüdung auf den Zellstoffwechsel bzw. auf die Fähigkeit zum Aufbau eines Membranpotentials durch die Zelle zu diskutieren. Nach BION ist es wahrscheinlich, daß der Alkohol den Calciumtransport in der Zelle aufgrund einer Permeabilitätsänderung behindert. Da für die Auslösung einer Kontraktion der Muskelfaser eine bestimmte Calciumkonzentration erforderlich ist, erscheint es naheliegend, daß unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ermüdbarkeit einzelner Faserbündel die Kontraktionszeit insgesamt infolge einer gestörten Membranpermeabilität für Calciumjonen verlängert ist. Für diese Annahme sprechen auch die Untersuchungen von WRIGHT, GALLEGO, POSTERNAK und MANGOLD sowie GRECELL und O'NEILL, wonach es unter Alkoholeinfluß an der Nervenzelle zu einer Verringerung des Ruhepotentials infolge eines gestörten Kaliumtransportes durch die Membranen kommt, sodaß die Zelle relativ unerregbar wird. Diese Tatsache könnte eine Störung der Reizleitfähigkeit des Nerven und der Reizausbreitung im Muskel bewirken. Dadurch wäre eine Verlängerung der Kontraktions- sowie der Reflexzeiten erklärbar. Allerdings ist z.B. LOW der Auffassung, daß erst sehr hohe Gewebsalkoholkonzentrationen die Nervenleitgeschwindigkeit beeinflussen können. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß beim Vergleich zwischen der Wirkung der Ermüdung und des Alkohols auf die Reflexantwort eine stärkere Beeinflussung des Muskels als des Nerven durch die Ermüdung erkennbar wurde. Auf Letzteren zeigten unter den gegebenen Versuchsbedingungen beide Faktoren eine fast gleich starke Wirkung.

Die verkehrsmedizinische Bedeutung der vorliegenden Ergebnisse liegt wohl zunächst in der Herausarbeitung praktikabler Methoden zum objektiven Vergleich der Wirkung des Alkohols und der Ermüdung auf das Verhalten einiger Sehnenreflexe. Nach unseren Versuchen muß bei Werten um 0,8 g/‰ mit einer ganz erheblichen Störung des Reflexverhaltens beim Menschen gerechnet werden. Es erscheint uns besonders interessant, daß nach 20-22stündigem Wachsein fast die gleichen Veränderungen der Reflextätigkeit wie bei einer solchen BAK beobachtet werden können und daß es durch das Zusammenwirken beider Noxen zu einem rein additiven Effekt kommt.

Unsere Untersuchungen unterstreichen die Feststellungen von RUTENFRANZ und SINGER sowie die von GRÜNER u. Mitarb., daß die Tageszeit bei der Begutachtung der Wirkung einer bestimmten BAK eine stärkere Beachtung finden sollte. Wenn die Ermüdung in annähernd gleichem Umfange wie eine BAK um 0,8 g/‰ die neuromuskulären Funktionen beeinträchtigt, so muß diesem Gesichtspunkt bei der Verkehrsaufklärung und der Beurteilung von Fahrfehlern eine wesentlich größere Bedeutung beigemessen werden als es u.E. bisher geschieht.

Ferner ist von Bedeutung, daß die Ermüdung subjektiv nicht empfunden wurde, sondern nur als Störung der Reflexe und ihrer muskulären Antwort zu objektivieren war. Derartige Ermüdungszustände sind auch in dieser Hinsicht mit der Wirkung kleinerer bis mittlerer BAK insofern zu vergleichen, als hier ebenfalls eine Fehleinschätzung der objektiven Leistungseinbuße zu beobachten ist.

LITERATUR

- BURGE, W.E., WICKEWIRE, G.C.: Studies on threshold of the knee-jerk. *Amer. J. Physiol.* 116, 161 (1936)
- BYON, Y.K.: Senkung der isometrischen Spannungsentwicklung und des myocardialen Sauerstoffverbrauchs durch Äthylalkohol. Vortrag gehalten auf der 43. Tagung der Dtsch. Physiol. Gesellschaft (1974)
- CASPERS, H.: Die Beeinflussung der corticalen Krampferregbarkeit durch das aufsteigende Reticulärssystem des Hirnstammes. I. Narkosewirkung. *Z. ges. exp. Med.* 129, 582 (1958)
- DODGE, H., BENEDICT, F.: Psychological effects of alcohol. Washington, 1915
- DORSAY, J.M., TRAVIS, L.E.: The effect of alcohol on the patellar tendon reflex time of dog. *Arch. Neurol. Psychiat.* 24, 48 (1930)
- EICHLER, W., HOFFMANN, P.: Die Veränderung der Form der Aktionsstromkurve des menschlichen Muskels durch die Ermüdung. *Z. Biol.* 96, 374 (1935)
- FORSTER, B., POHL, K.D., JOACHIM, H., DÖRING, G.: Neuere Untersuchungsergebnisse mit dem Sphallographen. *Blutalkohol* 8, 52 (1971)
- GALLEGO, A.: On the effect of ethyl alcohol upon frog nerve. *J. cell. comp. Physiol.* 31, 97 (1948)
- GRENNELL, R.G., O'NEILL, L.: Cerebral cell membranes and the action of ethanol. *Fed. Proc.* 24, 327 (1965)
- GRÜNER, O., LUDWIG, O., DOMER, H.: Übermüdung und Aufmerksamkeit. *Blutalkohol* 3, 53 (1965)

- GRÜNER, O., LUDWIG, O., TRABANT, G.: Alkoholbedingte Leistungsminderung bei Tag und Nacht. Blutalkohol 7, 337 (1970)
- HETTINGER, TH.: Die Ermüdung der Eigenreflexe bei Drucklufthammerarbeit. Arbeitsphysiologie 15, 57 (1953)
- HOFFMANN, P.: Beziehungen der Sehnenreflexe zur willkürlichen Bewegung. Z. Biol. 68, 351 (1918)
- HOFFMANN, P.: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Eigenreflexe von der Reizart. Z. Biol. 87, 187 (1928)
- HOFFMANN, P.: Über die relative Unermüdbarkeit der Sehnenreflexe. Z. Biol. 69, Heft 12 (1919) Sonderdruck
- IKEMUNE, J.: Influence of diminished atmospheric pressure and alcohol on reflex-time. Quart. J. Stud. Alcohol 3, 503 (1942)
- ISHIDO, T.: Effect of alcohol on the central nervous system observed through spinal reflexactivity. Quart. J. Stud. Alcohol 25, 372 (1964)
- KOCH, E.: Elektrographische Untersuchungen über das Verhalten des Patellarreflexes bei Langstreckenläufern. Arbeitsphysiologie 2, 409 (1930)
- KOLMODIN, G.M.: Action of ethylalcohol on the monosynaptic extensor reflex and the multisynaptic reflex. Acta physiol. scand. 29, Suppl. 106, 5530 (1953)
- LOW, M.D., BASMAJIAN, I.V., LYONS, G.M.: Conduction velocity and residual latency in the human ulnar nerve and the effects on them of ethyl alcohol. Amer. J. med. Sci. 244, 720 (1962)
- MAGOUN, H.W.: Handbook of Physiology. Washington, 1960
- MEGIRIAN, D., VASEY, I., POSTERNAK, I.M.: Action differentielle de quelques anesthésiques sur des voies spinales mono- et polysynaptiques chez la chat. Helv. physiol. pharmacol. Acta 16, 241 (1958)
- MEYER-LOHMANN, H.: Persönliche Mitteilungen. 1972
- MILES, E.: Effects of alcohol on psycho-physiological functions. Washington, 1918
- POSTERNAK, J.M., MANGOLD, R.: Action de narcotiques sur la conduction par les fibres nerveuses et sur leur potential de membrane. Helv. physiol. pharmacol. Acta 7, 55 (1949)
- RUTENFRANZ, J., SINGER, R.: Untersuchungen zur Frage einer Abhängigkeit der Alkoholwirkung von der Tageszeit. Int. Z. angew. Physiol. 24, 1 (1967)
- SCHMIDT, O., GOTTSCHALK, P.: Ein Gerät zur Messung statistischer Gleichgewichtsschwankungen. Klin. Wschr. 34, 15 (1956)
- SCHMIDTKE, H.: Die Ermüdung. Bern u. Stuttgart: Huber 1965
- SHERRINGTON, C.S.: The integrative action of the nervous system. London, 1915
- SUN-KEN QUO: A new method of measuring fatigue by the threshold stimulus of the achilles tendon reflex. J. app. Physiol. 2, 148 (1949)
- TRAVIS, L.E., DORSEY, I.M.: Alcoholeffect on patellartendon reflex-time. Arch. Neurol. Psychiat. (Chicago) 21, 613 (1929)
- TUTTLE, W.W.: The effect of alcohol on the patellar reflex. J. Pharmacol. exp. Ther. 23, 163 (1924)
- WALTHARD, K.M., TCHICALOFF, M.: Motor points, In: S. LICHT "Electrodiagnosis and Electromyography" 3. Aufl. Baltimore, 1971
- WRIGHT, E.B.: The effect of asphyxiation and narcosis on peripheral nerve depolarization and conduction. Amer. J. Physiol. 148, 174 (1947)
- WICKWIRE, G.C., JERRY, H., KOUSE, R., BURGE, W.E., MOUSSON, D.: Further studies on threshold of the knee-jerk as index for physical fitness. Amer. J. Physiol. 123, 213 (1938)

Dr. H. JOACHIM

Inst. f. gerichtl. Med.
und Versicherungsmed. d. Univ.
D-7800 Freiburg, Albertstr. 9
Bundesrepublik Deutschland