

# Упоредна анализа електроенцефалографских тестова атенуације алфа активности у процени нехотичног заспивања здравих одраслих особа

Звонко Шундрић<sup>1</sup>, Ненад Рајшић<sup>2</sup>, Милан Лакочевић<sup>3</sup>, Емилија Николић-Ђорић<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт за ваздухопловну медицину, Војномедицинска академија, Београд, Србија;

<sup>2</sup>Јединица за функционалну неуролошку дијагностику, Војномедицинска академија, Београд, Србија;

<sup>3</sup>Институт за ендокринологију, Клинички центар Србије, Београд, Србија;

<sup>4</sup>Институт за економику пољопривреде, Нови Сад, Србија

## КРАТАК САДРЖАЈ

**Увод** Смањење степена дневне будности је чест узрок несрећа на радном месту и у саобраћају, због чега је важно утврдити поуздани показатељ склоности ка нехотичном заспивању.

**Циљ рада** Ради утврђивања оптималног електроенцефалографског (ЕЕГ) показатеља нехотичног заспивања, испитано је 87 неуролошки и соматски здравих испитаника код којих је склоност ка заспивању оцењена након непреспаване ноћи. Циљ депривације спавања био је да се испитаници доведу у стање повећане поспаности и евентуалног нехотичног заспивања, што је омогућавало поређење различитих метода евалуације.

**Методе рада** Код свих испитаника примењени су визуелна аналогна скала за поспаност и ЕЕГ регистравање, уз извођење теста атенуације алфа активности на стандардан начин и према оригиналној модификацији, која се односила на промену филтера при анализи сигнала (5-32 Hz).

**Резултати** Након депривације спавања, 54 испитаника су нехотице заспала. Поређењем вредности на субјективној визуелној аналогној скали нису утврђене разлике у предвиђању заспивања, за разлику од објективног ЕЕГ теста атенуације алфа активности. Модификација с применом ужег распона филтера, намењеног побољшању односа између шума и сигнала, показала је бољу предиктивну вредност у поређењу са стандардним тестом.

**Закључак** Примена објективних ЕЕГ тестова у процени склоности ка нехотичном заспивању здравих особа је оптимална метода. Примена описане модификације теста атенуације алфа активности заслужује посебну пажњу у оквиру медицинских служби везаних за ваздухопловну медицину и професионално особље у свим видовима саобраћаја.

**Кључне речи:** електроенцефалографија (ЕЕГ); спавање; тест атенуације алфа активности

## УВОД

Савремена технолошка друштва убрзаним развојем индустрије, а посебно саобраћаја и транспорта, у знатној мери одређена су континуираним двадесетчетворочасовним радом у сменама који код изложених особа воде нарушавању циркадијалних ритмова, односно поремећајима циклуса спавања и будности. Истраживања у овој области су открила униформни образац великог броја саобраћајних несрећа чији је очигледни узрок био прекомерни замор праћен смањеном способношћу когнитивних и моторних радњи, те смањеном будности возача, односно њеним потпуним прекидом [1]. Процене истраживача у Сједињеним Америчким Државама показују да се 19% свих саобраћајних несрећа са смртним исходом или тешким повредама путника у возилу могу приписати акутној поспаности [2]. Посебно значајно за ову област имају медицинске службе у оквиру ваздухопловног саобраћаја, вођене чињеницама да несреће у овој области имају димензије катастрофа са несразмерно већим бројем жртава, као и специфичним обрасцима прекида спавања, односно

делимичних депривација сна код професионалног летачког особља [3].

Бројни покушаји анализе образаца понашања који би особама изложеним високом ризику заспивања у ризичним ситуацијама (нпр. управљање возилом) наговестили могућност падања у сан, нажалост, нису били успешни у задовољавајућој мери [4]. Стога се у процени поспаности покушавало с више различитих метода које обухватају субјективне скале самопроцене и објективне неурофизиолошке методе [5]. Од субјективних метода најчешће је примењивана визуелна аналогна скала (ВАС; енгл. *Visual Analogue Scale*). На њој се означава стање сопствене поспаности на хоризонталној линији дужине од 100 mm (где један екстрем представља стање максималне будности, а други екстрем степен поспаности) непосредно пре заспивања. Предност овога инструмента је једноставна употреба због јасног перцептивног дела. Осим тога, са психолошке и статистичке тачке гледишта ВАС је значајно поузданија јер нуди одговоре дуж континуума, избегавајући нумерисане или „закључане” категорије (мало, веома, много и сл.), које не оцртавају аутентичну градицију ста-

## Correspondence to:

Zvonko ŠUNDRIĆ  
Institut za vazduhoplovnu  
medicinu VMA  
Crnotravska 17, 11000 Beograd  
Srbija  
z.sundric@gmail.com

ња које се посматра [6]. Објективна метода опсервације и регистровања бихејвиоралних знакова поспаности (зевање и климање главе) такође је предложена [7].

Између неколико неурофизиолошких метода, које обухватају електроенцефалографска (ЕЕГ) и полисомнографска мерења, најчешће је примењиван тест мултиплих латенција заспивања (ТМЛЗ; енгл. *Multiple Sleep Latency Test*), развијен крајем седамдесетих година двадесетог века [8], који се, међутим, може изводити само у лабораторијским условима. Због тога се касније развила методологија спектралне анализе ЕЕГ сигнала у алфа фреквентном опсегу (8-12 Hz), чија се снага, према експерименталним запажањима, мења у зависности од степена будности испитаника [9]. Ова метода је названа тестом атенуације алфа активности (ТАА; енгл. *Alpha Attenuation Test*), а подразумева шест појединачних анализа снаге алфа спектра у двоминутним интервалима у стањима са затвореним и отвореним очима. Експериментално је утврђено да у стању поспаности при отварању очију долази до повећања снаге спектра у алфа траци, односно слабљења снаге при затварању очију. Количник алфа снаге у ова два наведена стања сматра се мерилем будности и назива се индексом алфа атенуације (ИАА; енгл. *Alpha Attenuation Index*). Нижа вредност овога индекса одговара стању повећане поспаности, које се у бихејвиоралном обрасцу испољава слабијом моторном покретљивошћу, смањеном пажњом и незаинтересованошћу за околину.

С обзиром на то да метода ЕЕГ регистровања са собом носи извесна ограничења везана за нежељено угрожавање оригиналног биолошког сигнала, што је посебно значајно у условима ванлабораторијског мерења (нпр. у радној средини испитаника), претпоставили смо да модификација стандардног ТАА (сТАА) применом специфичних дигиталних филтера намењених укидању нежељених компоненти има бољу сензитивност и представља поузданији модел предвиђања у односу на оригинални тест. У ту сврху извели смо проспективну студију ЕЕГ анализе предвиђања нехотичног заспивања здравих особа и упоредили сТАА с нашом модификацијом овога теста (мТАА).

## ЦИЉ РАДА

Циљ истраживања били су процена ризика од нехотичног заспивања здравих особа након непрспаване ноћи у условима погодним за спавање и утврђивање оптималне ЕЕГ методе у предвиђању овог ризика.

## МЕТОДЕ РАДА

Истраживање је изведено у Јединици за функционалну неуролошку дијагностику (ЈФНД) Дијагностичко-поликлиничког центра Војномедицинске академије (ВМА) од маја 2004. до децембра 2006. године. Испитано је 87 неуролошки и соматски здравих особа које су упућене у Институт за ваздухопловну медицину

ВМА ради добијања или продужења летачке дозволе. Сви испитаници су дали писани пристанак за учешће у студији, а све истраживачке процедуре изведене су у складу с Хелсиншким декларацијом о правима испитаника, односно болесника. Већину испитаника чинили су мушкарци (66), а просечна старост испитаника била је  $28,46 \pm 12,33$  године (распон 22-48 година).

Испитивање је изведено у ЕЕГ лабораторији ЈФНД, у стандардизованим условима, након непрспаване ноћи, продуженим ЕЕГ мерењем у трајању од 45 минута у условима погодним за заспивање, увек у исто време (у девет часова ујутро), у звучно изолованој и замраченој просторији ( $<50 \text{ lx}$ ; *DG Examiner, Vickers Medical, UK*) са 24 ЕЕГ деривације и упоредним бележењем ЕКГ записа. Испитаницима је наложено да се опусте и мирно леже затворених очију, да избегавају да трепћу и покрећу очи, те да на сваки начин настоје да остану будни.

Испитаници су сврстани у две групе, где су прву групу чинили они који су остали будни током читавог периода мерења, а другу они који су током испитивања достигли најмање први стадијум спавања. У студијама испитивања поспаности није неопходна процена сва четири стадијума спавања, већ само фазе између будности и прве фазе спавања [10].

За субјективну оцену нивоа поспаности коришћена је униполарна ВАС за поспаност, где се од испитаника захтевало да изврши процену поспаности између екстрема „нисам уопште поспан” и „веома сам поспан”.

ТАА је извођен на уобичајен начин током првих 12 минута бележења ЕЕГ сигнала. Два минута од започињања ЕЕГ мерења у стању мировања уз затворене очи од испитаника се захтевало да отвори очи, а десет секунди касније да их поново затвори. Свака сесија затварања и отварања очију понављана је укупно шест пута уз паузе од по два минута. После филтрирања са стандардним пропусницима у распону фреквенција ЕЕГ сигнала између 0,5 и 70 Hz, као за сТАА, односно модификованог филтрирања са пропусницима између 5 и 32 Hz, према мТАА, ЕЕГ сигнал је преведен у дигитални облик узорковањем по стопи од 256 Hz, уз резолуцију од 12 бита. Визуелном анализом ЕЕГ сигнала одбачене су све петосекундне епохе које садрже активност мишића, мале покрете тела, покрете очију и тета активности, видне споре покрете очију који се јављају истовремено с алфа активношћу (тзв. микроспавање). Снимак је анализиран помоћу рачунарског програма намењеног спектралној анализи ЕЕГ сигнала. Све валидне ЕЕГ епохе, које нису садржавале артефакте, обрађене су помоћу брзе Фуријеове трансформације (енгл. *Fast Fourier Transformation – FFT*), а спектралном анализом су издвојене апсолутне и релативне снаге фреквенцијских опсега за деривацију О1-А2. Апсолутна снага алфа домена мерена је у  $\mu V^2$ , док је релативна снага изражена у процентима удела алфа активности у укупној снази ЕЕГ спектра поменуте деривације. Из снаге алфа опсега током шест периода (очи затворене и очи отворене) израчунат је ИАА за сваку појединачну епоху у трајању од по пет секунди. Доби-

**Табела 1.** Основна обележја варијабли индекса атенуације алфа активности (ИАА)**Table 1.** Basic characteristics of variables of index of attenuation of alpha activity (IAA)

Варијабла Variable	Значење појединачних ИАА Significance of individual IAA	НФ LF	ВФ HF
ИАА $\mu 0.5$	Добијен из апсолутних снага Obtained from absolute powers	0.5 Hz	70 Hz
ИАА %0.5	Добијен из релативних снага Obtained from relative powers	0.5 Hz	70 Hz
ИАА $\mu 5$	Добијен из апсолутних снага Obtained from absolute powers	5 Hz	32 Hz
ИАА %5	Добијен из релативних снага Obtained from relative powers	5 Hz	32 Hz

НФ – гранична фреквенција филтера пропусника ниских фреквенција;  
ВФ – гранична фреквенција филтера пропусника високих фреквенција  
LF – borderline frequency of low frequency filter;  
HF – borderline frequency of high frequency filter

јене су средње вредности и стандардне девијације ИАА, које су даље коришћене као основне варијабле. Начин анализе ИАА и номенклатура приказани су у табели 1.

Поред овог, конвенционалног начина анализе ИАА желели смо да анализирамо и појединачне индексе за свако од шест узастопних мерења. На овај начин добијена је крива са динамичким трендом праћења вредности ИАА. Циљ ове анализе био је да се испитају потенцијалне вредности мТАА као предиктивног модела развоја поспаности при вршењу једноличних радњи.

### Статистичка анализа

Разлика између будних и испитаника који су заспали процењивана је применом Ман–Витнијевог (*Mann–Whitney*) *U*-теста за непараметарска обележја и Студентовог *t*-теста за вишеструко поређење код параметарских обележја у случајевима када су поређене средње вредности ИАА. Код анализу појединачних ИАА за поновљена мерења код две групе испитаника примењена је метода мултиваријационе анализе варијансе (*MANOVA*).

За утврђивање хомогености варијанси примењен је Ливенов (*Levene*) тест, који је мање осетљив на одступање од нормалне расподеле. Како је Ливенов тест у свим случајевима показао да постоји хетерогеност варијансе за поједине варијабле, урађена је логаритамска трансформација података и поновљена анализа. Применом овога теста проверена је и хомогеност варијансе трансформисаних података.

Разлика се сматрала статистички значајном уколико је њена вредност (*p*) била мања од 0,05, а статистички високо значајном за  $p < 0,01$ .

### РЕЗУЛТАТИ

Од 87 испитаника који су били подвргнути депривацији спавања, 54 су нехотице заспала. Разлика према полној и старосној расподели међу испитаницима две групе није било (Табела 2). У погледу сензитивности субјективне процене поспаности на ВАС, није било значајне разлике ( $p > 0,05$ ) између испитаника који

**Табела 2.** Демографски подаци о испитаницима и исход теста нехотичног заснивања**Table 2.** Demographic data of subjects and the outcome of involuntary sleep tests

Испитаници Subjects	Број Number	Старост (године) Age (years)	Пол / Sex	
			Мушки Male	Женски Female
Будни Awake	33	29.55±11.34	23	10
Заспали Asleep	54	27.68±10.83	43	11
Укупно Total	87	28.46±12.33	66	21

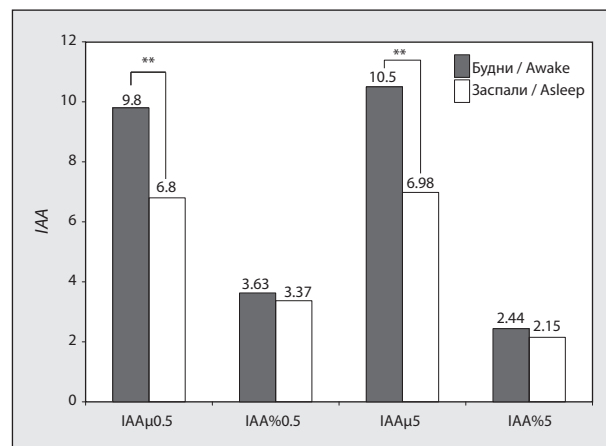
**Табела 3.** Вредности постигнуте на визуелној аналогој скали поспаности.**Table 3.** Values obtained with visual analogue scale of sleepiness.

Испитаници Subjects	$\bar{X} \pm SD$	Медијана Median
Будни Awake	61.2±17.7	69
Заспали Asleep	60.7±19.3	60

су остали будни током испитивања и оних који су заспали (Табела 3).

Подаци добијени анализом апсолутних и релативних снага ЕЕГ активности из алфа фреквентног опсега помоћу сТАА и мТАА указали су на статистички високо значајне разлике између две групе испитаника, и то искључиво за ИАА који су представљали количнике апсолутних снага за обе примењене методе ( $p < 0,01$ ). Ове разлике није било за ИАА изведене из релативних снага ЕЕГ активности ( $p > 0,05$ ; Табела 4, Графикон 1).

Поређењем појединачних ИАА добијених из апсолутних снага алфа спектра након логаритамске трансформације података, применом филтера високих фреквенција у распону 0,5–70 Hz, за поновљена мерења код две групе испитаника није утврђена статистички зна-

**Графикон 1.** Вредности ИАА добијене из апсолутних (ИАА $\mu$ ) и релативних (ИАА%) снага у алфа фреквентном опсегу, изражене као средње вредности свих мерења за распоне филтера који одговарају сТАА (0,5), односно мТАА (5). Висока статистичка значајност разлика између група будних и заспалих испитаника добијена је за примену обе варијанте ТАА.

**Graph 1.** IAA values obtained from absolute (IAA $\mu$ ) and relative (IAA%) powers in alpha frequency band shown as median values of all measurements for filter range corresponding to sAAT (0.5) and mAAT (5), respectively. High statistical significance of differences for groups of awake subjects and those asleep is recorded for both implemented AAT.

**Табела 4.** Вредности ИАА изведене из сТАА (коришћењем пропусника фреквенције 0,5-70 Hz) и мТАА (коришћењем пропусника фреквенције 5-32 Hz)

**Table 4.** Values of IAA extracted from sAAT (using high pass filter from 0.5 to 70 Hz) and mAAT (using high pass filter from 5 to 32 Hz)

Испитаници Subjects	Број Number	Индекси / Indexes			
		IAA $\mu$ 0.5	IAA %0.5	IAA $\mu$ 5	IAA %5
Будни Awake	33	9.80 $\pm$ 5.52	3.63 $\pm$ 2.34	10.50 $\pm$ 6.50	2.44 $\pm$ 1.06
Заспали Asleep	54	6.80 $\pm$ 5.38	3.37 $\pm$ 3.40	6.98 $\pm$ 5.68	2.15 $\pm$ 1.36
Укупно Total	87	7.06 $\pm$ 5.12	3.08 $\pm$ 2.61	7.19 $\pm$ 5.39	2.09 $\pm$ 1.10

чајна разлика ( $p>0,05$ ) нити за једно од шест узастопних мерења упркос запаженом тренду опадања ИАА у групи испитаника који су заспали (Графикон 2). Међутим, применом истоветне анализе, након употребе ужег распона филтера (5-32 Hz), у складу с нашем модификацијом, утврђене су статистички значајне разлике ИАА већ при првом мерењу у оквиру мТАА, што се одржавало током читавог теста ( $p<0,05$ ; Графикон 3).

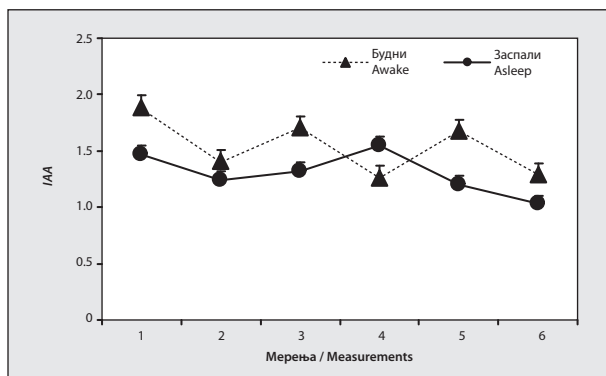
**ДИСКУСИЈА**

Кључни резултати овог истраживања односе се на предности објективних ЕЕГ тестова у предвиђању развоја нехотичног заспивања здравих одраслих особа током вршења једноличних радњи. Модификација сТАА променом распона филтера (смањење са 0,5-70 на 5-32 Hz) довела је до побољшања сензитивности теста, што без сумње представља значајан напредак и проширење примене методе на услове ван лабораторије, који се посебно цене у примењеним истраживањима, као, на пример, при анализи понашања пилота у летачкој кабини.

Више пута постављано питање у вези с могућношћу субјективног учешћа у препознавању поспаности и предвиђању нехотичног заспивања није водило ка јединственом одговору. Наиме, испитаници су се

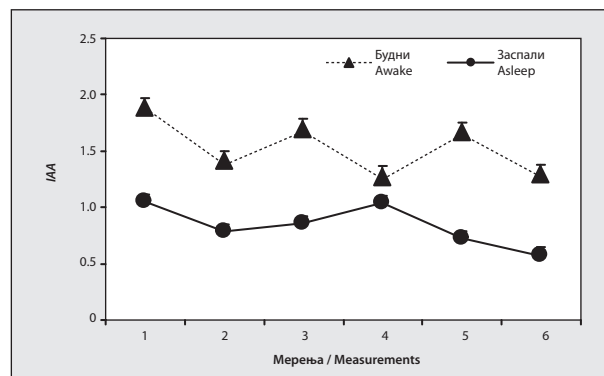
у значајној мери разликовали у погледу могућности процене степена сопствене поспаности и наступајућег нехотичног заспивања. Студија која се бавила проценом предвиђања поспаности код 41 здравог испитаника подвргнутог парцијалној депривацији спавања помоћу ВАС показала је значајно бољу процену заспивања (78%) у односу на процену одржавања будности (42%). Међутим, вероватноћа предвиђања заспивања показала се знатно нижом при првим успављивањима (55%). Уопштено посматрајући, учесталост погрешних предвиђања заспивања превазилазила је број погрешних процена одржавања будности, наводећи на закључак да су субјективни физиолошки и когнитивни индикатори поспаности ипак слаби предиктори заспивања [11]. Овакав налаз је у складу с резултатима добијеним у нашем истраживању, где је могућност субјективне самопроцене још једном дисквалификована.

У погледу објективних тестова процене поспаности, ТМЛЗ је потврђен као метода с оптималном сензитивношћу. Међутим, ограничења која ТМЛЗ везују за вишечасовно лабораторијско испитивање, упркос његовој високој сензитивности [12], усмерила су истраживаче да трагају за другим физиолошким параметрима који би били корисни у препознавању стања поспаности код будних особа, а нарочито код особа које оперативно активно обављају поједине дужности [13]. Стога су разматрани разноврсни ЕЕГ параметри



**Графикон 2.** Вредности ИАА након логаритамске трансформације апсолутних снага за свако појединачно мерење (1-6) у оквиру сТАА, у распону филтера од 0,5 до 70 Hz, за групе здравих одраслих испитаника који су нехотице заспали и оних који су остали будни. Обратите пажњу на изостанак статистички значајних разлика ( $p>0,05$ ).

**Graph 2.** Values of IAA after logarithmic transformation of powers for every individual measurement (1-6) within sAAT, filter span 0.5-70 Hz, for the group of healthy adult subjects who had involuntarily fallen asleep and those who remained awake. Attention should be paid to the lack of statistically significant differences ( $p>0,05$ ).



**Графикон 3.** Вредности ИАА након логаритамске трансформације апсолутних снага за свако појединачно мерење (1-6) у оквиру мТАА, у распону филтера од 5 до 32 Hz, за групе здравих одраслих испитаника који су нехотице заспали и оних који су остали будни. Статистичком анализом утврђена је значајна разлика за сваки појединачни покушај, с изузетком мерења бр. 4.

**Graph 3.** Values of IAA after logarithmic transformation of powers for every individual measurement (1-6) within mAAT, filter span 5-32 Hz, for the group of healthy adult subjects who had involuntarily fallen asleep and those who remained awake. Statistical analysis confirms significant difference for every individual attempt, except for measurement no. 4.



с потенцијалним вредностима сензитивног инструмента заступљености поспаности. Поједине ЕЕГ студије су се бавиле проблемима поспаности током војње, те је описано повећање апсолутних снага у алфа и тета фреквентним опсезима, упоредо са смањењем нивоа будности возача [14]. Даље анализе ЕЕГ сигнала током симулирања војње бележених изнад фронталних и паријеталних региона показале су повећање релативне снаге алфа таласа током понављаних једноличних радњи [10]. Наведена запажања имају упориште у студијама које су утврдиле да су ЕЕГ промене у тета и алфа фреквентним распонима одраз когнитивних и меморијских способности [15]. Међутим, још пре објашњења значења и механизма ЕЕГ промена у стањима смањене будности постављена је хипотеза да кадгод се појединац приближава тренутку заснивања, спектрална снага у алфа фреквенцијском распону се смањује уколико су очи отворене, односно повећава при отварању очију. Досадашња искуства приказују задовољавајућу корелацију између ТАА и латенције заснивања код ТМЛЗ [9], а потврђена је и ефикасност ТАА као једноставног и практичног дијагностичког инструмента у процени прекомерне дневне поспаности удружене с нарколепсијом [16].

У нашој студији мТАА је уследио након хипотезе да ограничења теста проистичу из самог принципа мерења биоелектричне активности мозга. Реч је о поступку којим се мери и графички бележи разлика електричног потенцијала између дефинисаних тачака на поглавини испитаника. Нажалост, основна одлика ЕЕГ записа јесте да се током мерења оригинална електрична активност мозга све више пригушује и губи. Крајњи запис представља одраз активности кортекса, који је неретко ометан шумом, електричним сигналом који није биолошког или кортикалног порекла [17]. Ове електричне активности, тзв. артефакти, који нису можданог порекла, манифестују се различитим таласним облицима, најчешће фреквенцијама нижим

од алфа траке. Упркос чињеници да појачала савремених ЕЕГ апарата имају неупоредиво бољу редуцију штетног сигнала – шума, повремено ово ометање оригиналног ЕЕГ сигнала може суштински спречити могућност дискриминације биолошки значајне поруке (сигнала). Наведене чињенице посебно добијају на значају у условима мерења ЕЕГ сигнала ван неурофизиолошких лабораторија, као што је случај у саобраћају, где су возачи аутомобила, транспортних возила, возова и ваздухоплова окружени изразитом контаминацијом слабих електричних сигнала пореклом из можданих структура од стране низа електричних уређаја и инструмената у њиховом непосредном окружењу. Супротно чињеници да услови ЕЕГ мерења изван специјализованих лабораторија условљавају низ препрека у поузданој анализи сигнала, захтеви примењених студија усмерени су ка опсервацијама и регистровањима у оквиру уобичајеног радног окружења испитаника (возача, pilota итд.). На основу ових чињеница може се лако разумети зашто се истраживачи усмеравају ка развоју објективних поступака процене поспаности, које су довољно неосетљиве на ометање да у условима радне средине омогуће даља истраживања. Посебно значење представљених налаза односи се на дефинисање модификованог објективног модела ЕЕГ регистровања, који није подложен уобичајеном ометању биолошког сигнала, па је стога ефикасан у примени ван неурофизиолошке лабораторије.

## ЗАКЉУЧАК

Упоредном анализом објективних ЕЕГ показатеља поспаности утврђена је, уз побољшану сензитивност, модификована варијанта ТАА, чиме се обезбеђује поуздана примена методе у условима радне средине, с просредним значајем у областима медицине рада и ваздухопловне медицине.

## ЛИТЕРАТУРА

- Kryger MH, Roth T, Dement W. Principles and Practice of Sleep Medicine. 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders Company; 2000.
- Connor J, Norton R, Ameratunga S, Robinson E, Civil I, Dunn R, et al. Driver sleepiness and risk of serious injury to car occupants: population based case control study. *BMJ*. 2002; 324:1125-8.
- Rosekind MR, Gregory KB, Mallis MM. Alertness management in aviation operations: enhancing performance and sleep. *Aviat Space Environ Med*. 2006; 77:1256-65.
- Kaplan KA, Itoi A, Dement WC. Awareness of sleepiness and ability to predict sleep onset: can drivers avoid falling asleep at the wheel? *Sleep Med*. 2007; 9:71-9.
- Curcio G, Casagrande M, Bertini M. Sleepiness: evaluating and quantifying methods. *Int J Psychophysiol*. 2001; 41:251-63.
- Volk S, Dyroff J, Georgi K, Pflug B. Subjective sleepiness and physiological sleep tendency in healthy young morning and evening subject. *J Sleep Res*. 1994; 3:138-43.
- Nelson TM. Subjective factors related to fatigue. *Alcohol, Drugs and Driving*. 1989; 5:193-214.
- Carskadon MA, Dement WC. Effects of total sleep loss on sleep tendency. *Percept Mot Skills*. 1979; 48:495-506.
- Stampi C, Stone P, Michimori A. The alpha attenuation test: a new quantitative method for assessing sleepiness and its relationship to the MSLT. *Sleep Res*. 1993; 22:115-9.
- Lal SKL, Craig A. Driver fatigue: electroencephalography and psychological assessment. *Psychophysiology*. 2002; 39:313-21.
- Grigg-Damberger M, Gozal D, Marcus CL, Quan SF, Rosen CL, Chervin RD, et al. The visual scoring of sleep and arousal in infants and children. *J Clin Sleep Med*. 2007; 15:201-40.
- Wise MS. Objective measures of sleepiness and wakefulness: application to the real world? *J Clin Neurophysiol*. 2006; 23:39-49.
- Axelsson J, Kecklund G, Akerstedt T, Donofrio P, Lekander M, Ingre M. Sleepiness and performance in response to repeated sleep restriction and subsequent recovery during semi-laboratory conditions. *Chronobiol Int*. 2008; 25:297-308.
- Akerstedt T, Kecklund G, Knutsson A. Manifest sleepiness and the EEG spectral content during night work. *Sleep*. 1991; 14:221-5.
- Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Res Brain Res Rev*. 1999; 29:169-95.
- Alloway CED, Ogilvie RD, Shapiro CM. The alpha attenuation test: assessing excessive daytime sleepiness in narcolepsy-cataplexy. *Sleep*. 1997; 20:258-66.
- Ille N, Berg P, Scherg M. Artifact correction of the ongoing EEG using spatial filters based on artifact and brain signal topographies. *J Clin Neurophysiol*. 2002; 19:113-24.

## Comparative Analysis of Electroencephalographic Tests of Alpha Activity Attenuation in Evaluation of Involuntary Falling Asleep in Healthy Adults

Zvonko Šundrić<sup>1</sup>, Nenad Rajšić<sup>2</sup>, Milan Lakočević<sup>3</sup>, Emilija Nikolić-Djorić<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institute of Aviation Medicine, Belgrade, Serbia;

<sup>2</sup>Unit for Functional Neurological Diagnostics, Military Medical Academy, Belgrade, Serbia;

<sup>3</sup>Institute of Endocrinology, Clinical Centre of Serbia, Belgrade, Serbia;

<sup>4</sup>Institute of Agricultural Economics, Novi Sad, Serbia

### SUMMARY

**Introduction** Decrease of daily alertness is a common cause of accidents in the work place, especially traffic accidents. Therefore, an increasing interest exists to determine reliable indicators of a tendency to fall asleep involuntarily.

**Objective** To determine an optimal electroencephalographic (EEG) indicator of an involuntary tendency to fall asleep, we performed a study on neurologically healthy subjects, after one night of sleep deprivation. Total sleep deprivation was aimed at increasing daily sleepiness in healthy subjects, providing us with an opportunity to test different methods of evaluation.

**Methods** We applied a visual analogue scale for sleepiness (VASS), EEG registration with the specific test of alpha activity attenuation (TAA) in 87 healthy subjects. The test was performed in a standard way (sTAA) as well as in accordance

with new modifications related to changes of EEG filter width in the range from 5 to 32 Hz (mTAA).

**Results** After sleep deprivation, we observed involuntary falling asleep in 54 subjects. The comparison of VASS results showed no differences, contrary to a more objective TAA. Between two variants of TAA, the modified test provided us with a better prediction for subjects who would fall asleep involuntarily.

**Conclusion** The application of a more objective EEG test in evaluation of daily alertness represents the optimal method of testing. Modified TAA attracts special attention, offering a simple solution for reliable testing of decreased daily alertness in medical services related to professional aircraft personnel.

**Keywords:** electroencephalography (EEG); sleep; alpha attenuation test

Примљен • Received: 21/10/2008

Прихваћен • Accepted: 18/11/2008