

POSTUROGRAPHIC ASSESSMENT OF BALANCE DISTURBANCES IN PERSONS UNDER THE INFLUENCE OF ALCOHOL OR CHLORPROMAZINE

Maciej BOSEK¹, Małgorzata PYSKIR¹, Ewa PUFAL², Marzena SYKUTERA²,
Bronisław GRZEGORZEWSKI¹, Maria KAŁA³, Wojciech PIEKOSZEWSKI³,
Karol ŚLIWKA²

¹ *Department of Biophysics, L. Rydygier Medical University, Bydgoszcz*

² *Department of Forensic Medicine, L. Rydygier Medical University, Bydgoszcz*

³ *Institute of Forensic Research, Cracow*

ABSTRACT: Difficulties encountered in the assessment of psychomotor disturbances of persons under the influence of certain medicines have led to a search for new objective investigative methods. It seems that posturography could contribute significantly in this matter. In the paper, parameters obtained from the analysis of stabilograms of persons under the influence of alcohol or chlorpromazine were compared. Using the Langevin equation, the diffusion matrix and the friction coefficient were calculated. It was shown that closing the eyes causes an increase in the value of the diffusion matrix trace. Both the administration of alcohol and chlorpromazine cause a decrease in the value of the friction coefficient when the test is performed by persons with eyes closed. The friction coefficient can be proposed as a parameter which allows us to evaluate the state of the posture control system.

KEY WORDS: Posturography; Stabilogram; Centre of pressure; Chlorpromazine; Ethanol.

Problems of Forensic Sciences, vol. LVI, 2003, 5–14

Received 24 November 2003; accepted 10 December 2003

INTRODUCTION

Issues connected with the influence of medicines on the psychomotor efficiency of drivers are of interest to scientists in the fields of forensic and transport medicine all over the world [7, 8, 9, 10]. Since the action of many medicines is similar to the action of alcohol, it would be advisable to find parameters that characterise the state of persons that are under the influence of these medicines. Until now, different attempts at assessment of the influence of medicines have been made, e.g. using pupilometry [7] or recording of walking disturbances [8, 10]. However, the problems encountered in (these) analyses of the state of persons under the influence of psychotropic substances have necessitated a search for new investigative methods.

One of the potential methods of assessment of the influence of medicines on the state of a person could be static posturography. This discipline deals with analysis of the posture control system. The functioning of this system causes swaying of the pressure centre of a man on a plane of base. Instruments (of varying construction) assessing the swaying of the pressure centre of a man on a platform, e.g. a posturograph or a balance platform, are used for recording of the movement trajectory. These instruments differ in the following ways (amongst others): the posturograph has four sensors recording two time series of swings in forward-backward and sideways directions; the balance platform, on the other hand, has two independent sensors and their task is to measure the force of pressure during sideways swings.

Collins and De Luca [4, 5] showed that the swaying of the centre of pressure is a stochastic process and they were the first to apply a diffusion curve to analysis of the obtained signal. Many authors tried to explain the shape of the diffusion curve obtained by Collins and De Luca on the basis of different models [1, 3, 6]. Drawing an analogy between the swaying of the pressure centre and the movement of a particle, in this paper an equation containing the friction force and the stochastic force was accepted as a model. This model has already been preliminarily verified and described [2].

Literature data show that chlorpromazine – a tranquilliser – causes, among other things, disturbances of the central nervous system [11]. Hence, experimental studies using a posturograph were performed on persons that had consumed a single, small dose of chlorpromazine or alcohol. In practice, there is a lack of any norms concerning permissible levels of medications causing balance disturbances when operating machines or driving vehicles. Balance disturbances that may accompany consumption of alcohol at a dose leading to a “state of intoxication”, as legally defined, i.e. blood alcohol content of 0.05‰, were taken as a reference point.

MATERIAL AND METHODS

In order to obtain stabilograms, 25 healthy men aged 19–23 years, with a body mass of 70–80 kg and a height of 175–180 cm, took part in the experiments. Measurements were performed with the use of a posturograph manufactured by PROMED – Janusz Otton. This instrument recorded the swings of the centre of pressure in a forward-backward direction (the y axis) and, independently, in the sideways direction (the x axis). The tested person stood motionless for 32 seconds on the posturograph, in an erect position with arms hanging loosely by his sides. The feet of the tested person were positioned at an angle of 30° with heels together. Posturographic tests were performed for each person in three experimental situations. In the first test,

the subjects stood on the posturograph without earlier consumption of substances that could cause balance disturbances. In the second situation, the test was performed after consumption of an alcohol dose that led to a blood concentration of about 0.5‰. The next day, 100 mg of chlorpromazine was administered to participants in the experiment. This amount leads to a blood concentration of the medicine within the limits of therapeutic concentrations. Two hours after consumption of the medicine, the next posturographic measurement was performed. Stabilograms were recorded in each measurement situation in duplicate. During the first test, persons kept their eyes open, and during the second – closed.

In the analysis of stabilograms, the Langevin equation was assumed as the model. Solving this equation, one obtains a diffusion curve as a function of the time interval τ in the form:

$$C(\tau) = 2D \left[\tau + \gamma^{-1} (e^{-\tau} - 1) \right] \quad \{1\}$$

where

$$D = \begin{bmatrix} D_x & D_{xy} \\ D_{yx} & D_y \end{bmatrix} \quad \{2\}$$

is the symmetric diffusion matrix and γ is the friction coefficient. D_x describes the swings in the X direction, D_y – the swings in Y direction, D_{xy} – reflects correlation between these swings. For $\tau \ll \gamma^{-1}$, the diffusion curve is a quadratic function of time, and for $\tau \gg \gamma^{-1}$, it is a linear function of time; therefore the Fokker-Planck scale and diffusion scale are distinguished, respectively.

Each of the obtained stabilograms was studied and the diffusion matrix D and the friction coefficient γ were calculated. After determination of these parameters, stochastic analysis was performed.

RESULTS

For each of the tested persons, 6 stabilograms were obtained – two (open and closed eyes) for each measurement situation (without alcohol or medicine, after alcohol and after medicine). In each case, the trace of diffusion matrix $trD = D_x + D_y$, and the friction coefficient γ were determined. A comparison of mean values is presented in Figure 1 and 2.

The performed statistical analysis indicated that for each measurement situation, statistically significant differences at the confidence level of $P < 0.001$ occur between the values of the traces of diffusion matrix for the experiments performed when the persons kept their eyes open and closed. In

each situation, the trace of the diffusion matrix grows when a person keeps their eyes closed. The results are analogous to those obtained earlier for persons that were not under the influence of any additional substances [9]. However, in the tested group there is a lack of statistically significant differences between the values of the diffusion matrix trace for different measurement situations, both when the persons kept their eyes open and closed.

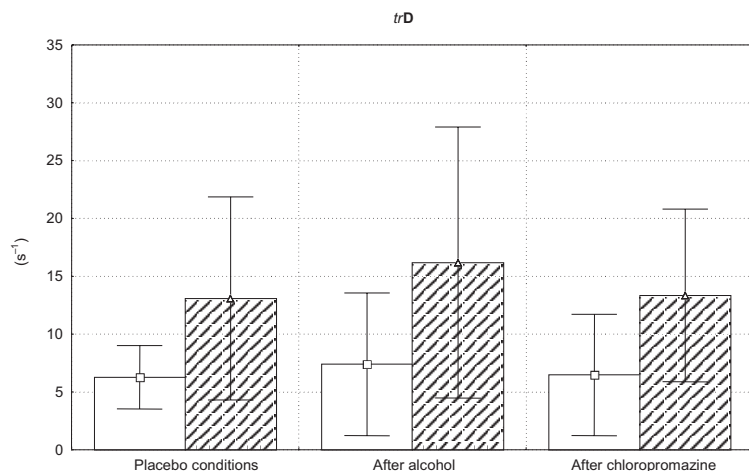


Fig. 1. The mean values and standard deviations of the diffusion matrix trace before and after administration of alcohol or chlorpromazine.

□ – Eyes open, ▨ – eyes closed.

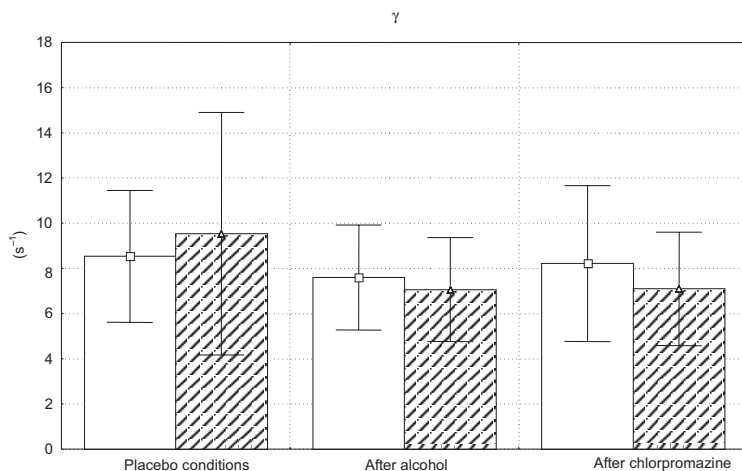


Fig. 2. The mean values and standard deviations of the friction coefficient before and after administration of alcohol or chlorpromazine.

□ – Eyes open, ▨ – eyes closed.

In the analysis of the friction coefficients, statistically significant differences at a confidence level of $P < 0.05$ after chlorpromazine administration were found between values obtained when persons kept their eyes open ($\gamma = 8.21 \text{ s}^{-1}$) and closed ($\gamma = 7.09 \text{ s}^{-1}$). It was shown that the values of the friction coefficient decrease significantly, from $\gamma = 9.54 \text{ s}^{-1}$ to $\gamma = 7.06 \text{ s}^{-1}$ ($P < 0.001$) and to $\gamma = 7.09$ ($P < 0.01$) in persons with eyes closed after administration of alcohol and chlorpromazine, respectively. For experiments performed on persons keeping their eyes closed, the values of the friction coefficient after administration of alcohol and chlorpromazine did not differ statistically.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

In the assessment of stabilograms, a significant decrease in the value of the friction coefficient was observed in experiments when persons kept their eyes closed, both after administration of alcohol and chlorpromazine. These results show that the γ coefficient can be used as a parameter that allows us to assess objectively if a tested person is under the influence of a substance that disturbs his or her balance. Assessment of variations of the γ friction coefficient shows that the decrease in its value in the group with closed eyes after administration of the drug is almost identical to that in the group that consumed alcohol at a dose leading to blood alcohol concentration of about 0.5‰. Thus, when the degree of physical efficiency disturbances in persons intoxicated by alcohol (at the legally defined threshold of insobriety) is known, it may be possible to use only the value of the γ coefficient for determining the degree of balance disturbances without using alcohol as the point of reference in the next experiments. This observation leads to the possibility of applying the simple posturographic test to the assessment of the fitness of persons taking medicines to drive vehicles or operate machines. However, in order to establish a suitable numerical threshold, it would be reasonable to perform more detailed studies. The considerable scatter of the values of parameters obtained for the same measurement situation indicates the necessity of studies on a greater group of persons and the selection of a less diverse group on the basis of a detailed preliminary interview.

The action of the human balance control system can be influenced by earlier diseases, sports played, active lifestyle, etc. The obtained results show that these factors can be of great importance for the values of the determined parameters and in further studies one should eliminate their significance. It would also be advisable to check other preparations that can influence the psychophysical state of persons. One should also perform studies on groups

of persons that have undergone long-term treatment with individual medicines as well as combinations of several preparations.

Acknowledgement:

The authors would like to thank Professor Andrzej Kowalczyk from the Institute of Physics of the Nicolaus Copernicus University (UMK) in Toruń for lending them the posturograph.

References:

1. Alonso-Sanchez F., Hochberg D., Renormalization group analysis of a quivering string model of posture control, *Physical Review E* 2000, vol. 62, pp. 7008–7023.
2. Bosek M., Grzegorzewski B., Kowalczyk A., Parameters of postural sway for young and elderly people, XIVth Conference of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology, June 22–25, Vienna 2002.
3. Chow C. C., Lauk M., Collins J. J., The dynamics of quasi-static posture control, *Human Movement Science* 1999, vol. 18, pp. 725–740.
4. Collins J. J., De Luca C. J., Open-loop and closed-loop control of posture: random-walk analysis of center-of-pressure trajectories, *Experimental Brain Research* 1993, vol. 95, pp. 308–318.
5. Collins J. J., De Luca C. J., Random walking during Quiet Standing, *Physical Review Letters* 1994, vol. 73, pp. 764–767.
6. Frank T. D., Daffertshofer A., Beek P. J., Multivariate Ornstein-Uhlenbeck processes with mean-field dependent coefficients: Application to postural sway, *Physical Review E*, 2000, vol. 63, pp. 1–16.
7. Premier F., Peschel O., Sachs H., Vigilanzmessung mit dem Pupillographen Abnahme der Sympathischen Aktivität durch eine Alkoholisierung, 76. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin, September 16–20, Jena 1997, .
8. Pufal E., Sykutera M., Rochholz G. [et al.], Modell zur Abschätzung des Einflusses von Phenothiazinen auf den Kraftfahrer unter Verwendung der Bild-Transformations-Methode, 80. Jahrestagung der Deutschen Gessellschaft für Rechtsmedizin, Interlaken, September 25–28, 2001, .
9. Ray W. A., Fought R. L., Decker M. P., Psychoactive drugs and risk of injurious motor vehicle crashes in elderly drivers, *American Journal of Epidemiology* 1992, vol. 136, pp. 873.
10. Raszeja S., Śliwka K., Mazurkiewicz S. [i in.], Die Beurteilung der Gangart als Untersuchungsmodell zur Wöchselwirkung zwischen Alkohol und Arzneimitteln, *Blutalkohol* 1978, Bd. 15, S. 186.
11. www.medimedia.pl

POSTUROGRAFICZNA OCENA ZABURZEŃ RÓWNOWAGI OSÓB PODDANYCH DZIAŁANIU ALKOHOLU LUB CHLOROPROMAZYNY

Maciej BOSEK, Małgorzata PYSKIR, Ewa PUFAL, Marzena SYKUTERA,
Bronisław GRZEGORZEWSKI, Maria KAŁA, Wojciech PIEKOSZEWSKI,
Karol ŚLIWKA

WSTĘP

Przedmiotem zainteresowania medycyny sądowej i komunikacyjnej na całym świecie są zagadnienia związane z wpływem leków na sprawność psychomotoryczną uczestników ruchu drogowego [7, 8, 9, 10]. Ponieważ skutki działania wielu leków są podobne do działania alkoholu, wskazane byłoby znalezienie parametrów określających stan osób będących pod wpływem tych leków. Dotychczas podejmowano różne próby oceny wpływu leków na stan organizmu, np. wykorzystując pupilometrię [7] czy rejestrację zaburzeń chodu [8, 10]. Jednak trudności napotymane w analizie stanu osób pozostających pod wpływem środków psychotropowych stwarzają konieczność poszukiwania nowych metod badawczych.

Jedną z potencjalnych metod oceny wpływu leków na stan osoby może być posturografia statyczna. Dziedzina ta zajmuje się analizą systemu kontroli postawy. Funkcjonowanie tego systemu powoduje błędzenie centrum nacisku człowieka na płaszczyznę podstawy. Do rejestracji trajektorii ruchu używa się różniących się konstrukcyjnie aparatów oceniających błędzenie centrum nacisku człowieka na platformę, np. posturograf lub platformę balansową. Aparaty te różnią się między innymi tym, że przy budowie posturografów zainstalowano cztery czujniki rejestrujące dwa szeregi czasowe wychyleń w kierunku przód-tył i bocznym. Natomiast w platformie balansowej znajdują się dwa niezależne sensory, których zadaniem jest badanie siły nacisku przy wychyleniach bocznych.

Collins i De Luca [4, 5] pokazali, że błędzenie centrum nacisku jest procesem stochastycznym i zastosowali jako pierwsi krzywą dyfuzyjną do analizy otrzymanego sygnału. Wielu autorów próbowało na gruncie różnych modeli wyjaśnić kształt otrzymanej przez Collinsa i De Lucę krzywej dyfuzyjnej [1, 3, 6]. Korzystając z analogii błędzenia centrum nacisku do ruchu cząstki, w tej pracy jako model przyjęto równanie zawierające siłę tarcia i siłę stochastyczną. Model ten został już wstępnie zweryfikowany i opisany [2].

Z danych zawartych w literaturze przedmiotu wynika, że chloropromazyna – lek uspokajający – powoduje między innymi zaburzenia ze strony ośrodkowego układu nerwowego. Dlatego też badaniom doświadczalnym z wykorzystaniem posturografu poddano osoby, które dla potrzeb tego doświadczenia spożyły jednorazowo małą dawkę chloropromazy lub alkoholu. W praktyce brak jest jednak jakichkolwiek wartości normatywnych, przy których możliwe byłoby dopuszczenie osób do obsługi maszyn czy kierowania pojazdami po zażyciu środków powodujących zaburzenia równowagi. Za punkt odniesienia przyjęto zaburzenia równowagi mogące towarzyszyć

spożyciu alkoholu w dawce prowadzącej do prawnie określonego stanu nietrzeźwości, tj. zawartości alkoholu we krwi w ilości 0,5‰.

MATERIAŁ I METODA

W celu uzyskania stabilogramów badaniom poddano 25 zdrowych mężczyzn w wieku 19–23 lat o masie ciała 70–80 kg i wzroście 175–180 cm. Badania prowadzono z wykorzystaniem posturografu firmy PROMED – Janusz Otton. Urządzenie to rejestrowało wychylenia centrum nacisku w kierunku przód-tył (oś y) oraz, niezależnie, w kierunku bocznym (oś x). Badana osoba stała nieruchomo przez 32 sekundy na posturografie, w postawie wyprostowanej, z luźno spuszczonej rękoma. Stopy badanego ustawione były pod kątem 30° ze złączonymi piętami. Każdej osobie wykonano test posturograficzny w trzech sytuacjach pomiarowych. W pierwszej probanci stali na posturografie, nie spożywając wcześniej środków mogących powodować zaburzenia równowagi. W drugiej sytuacji test wykonano po spożyciu dawki alkoholu, po której jego stężenie we krwi wynosiło około 0,5‰. Następnego dnia badanym podawano 100 mg chloropromazyny, tak, że stężenie leku we krwi wahało się w granicach stężeń terapeutycznych. Po 2 godzinach od momentu spożycia leku wykonywano kolejne 2 próby posturograficzne w trzeciej sytuacji pomiarowej. Stabilogramy rejestrowano w każdej sytuacji pomiarowej dwukrotnie. Podczas pierwszego testu probanci mieli oczy otwarte, natomiast podczas drugiego oczy zamknięte.

W analizie stabilogramów jako model przyjęto równanie Langevina. Rozwiązując to równanie, otrzymuje się krzywą dyfuzyjną jako funkcję interwału czasowego τ w postaci:

$$C(\tau) = 2D[\tau + \gamma^{-1}(e^{-\gamma\tau} - 1)] \quad \{1\}$$

gdzie

$$D = \begin{bmatrix} D_x & D_{xy} \\ D_{yx} & D_y \end{bmatrix} \quad \{2\}$$

jest symetryczną macierzą dyfuzji, a γ jest współczynnikiem hamowania. D_x opisuje wychylenia w kierunku X , D_y – wychylenia w kierunku Y ; D_{xy} odzwierciedla korelację między tymi wychyleniami. Dla $\tau \ll \gamma^{-1}$ krzywa dyfuzyjna jest kwadratową funkcją czasu, a dla $\tau \gg \gamma^{-1}$ jest liniową funkcją czasu, dzięki czemu wyróżnia się odpowiednio skalę Fokkera-Plancka i skalę dyfuzyjną.

Każdy z otrzymanych stabilogramów opracowano, obliczając macierz dyfuzji D oraz współczynnik hamowania γ . Po wyznaczeniu tych parametrów przeprowadzono analizę statystyczną.

WYNIKI

Dla każdej z przebadanych osób otrzymano 6 stabilogramów – po dwa (oczy otwarte i zamknięte) w każdej sytuacji pomiarowej (bez leku i alkoholu, po alkoholu oraz po leku). We wszystkich przypadkach wyznaczono ślad macierzy dyfuzji $tr_D = D_x + D_y$ oraz współczynnik hamowania γ . Porównanie wartości średnich przedstawiono na rycinie 1 i 2.

Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała, że we wszystkich sytuacjach pomiarowych pomiędzy wartościami śladów macierzy dyfuzji wyznaczonymi u osób z otwartymi i zamkniętymi oczami występują statystycznie istotne różnice na poziomie ufności $P < 0,001$. Za każdym razem wartość śladu macierzy wyznaczona u osób po zamknięciu oczu rośnie. Wyniki te są analogiczne do otrzymanych wcześniej u osób nie będących pod wpływem dodatkowych środków [9]. W badanej grupie brak jednak statystycznie istotnych różnic pomiędzy wartościami śladu macierzy dyfuzji dla różnych sytuacji pomiarowych, zarejestrowanych zarówno u osób badanych z otwartymi, jak i zamkniętymi oczami.

W przypadku analizy współczynników hamowania po podaniu chloropromazyny znaleziono statystycznie istotne różnice, na poziomie ufności $P < 0,05$, pomiędzy wartościami uzyskanymi u osób badanych z otwartymi oczami ($\gamma = 8,21 \text{ s}^{-1}$) oraz zamkniętymi ($\gamma = 7,09 \text{ s}^{-1}$). Wykazano, że wartości współczynnika hamowania znacząco maleją: z $\gamma = 9,54 \text{ s}^{-1}$ do $\gamma = 7,06 \text{ s}^{-1}$ ($P < 0,001$) oraz do $\gamma = 7,09$ ($P < 0,01$) u osób badanych z zamkniętymi oczami po podaniu alkoholu oraz po podaniu chloropromazyny. W tej grupie badanych (z zamkniętymi oczami) wartości współczynnika hamowania po podaniu alkoholu i po podaniu chloropromazyny nie różnią się statystycznie.

DYSKUSJA WYNIKÓW I WNIOSKI

Oceniając otrzymane stabilogramy, zaobserwowano wyraźny spadek wartości współczynnika hamowania wyznaczonego u osób badanych z zamkniętymi oczami zarówno po podaniu alkoholu, jak i po podaniu chloropromazyny. Wyniki te wskazują, że współczynnik γ może być parametrem, który pozwoli obiektywnie określić, czy badana osoba znajduje się pod wpływem środka zaburzającego jego równowagę. Ocena zmian współczynnika hamowania γ wskazuje, że spadek wartości tego współczynnika, zwłaszcza w odniesieniu do grupy osób badanych z zamkniętymi oczami po przyjęciu leku, jest niemal identyczny jak w grupie osób, które spożyły alkohol w dawce prowadzącej do stężenia alkoholu we krwi na poziomie 0,5‰. Tym samym, znając stopień zaburzenia sprawności fizycznej u osób będących pod działaniem alkoholu na poziomie prawnie ustalonej granicy nietrzeźwości, być może będzie można wykorzystać jedynie wartości współczynnika γ dla ustalenia stopnia zaburzeń równowagi bez stosowania w kolejnych doświadczeniach alkoholu jako punktu odniesienia. Spostrzeżenie to daje możliwość wykorzystania prostego testu posturograficznego do oceny zdolności osób przyjmujących leki do kierowania pojazdami czy obsługi maszyn. Jednakże w celu ustalenia właściwego progu liczbowego uzasadnione byłoby przeprowadzenie bardziej szczegółowych badań. Znaczny rozrzut wartości parametrów uzyskanych w tej samej sytuacji badawczej wskazuje na konieczność przeprowadzenia badań na większej grupie osób oraz wybrania – na podstawie szczegółowego wywiadu wstępnego – grupy mniej zróżnicowanej.

Na funkcjonowanie systemu kontroli postawy człowieka mogą mieć wpływ przebyte wcześniej choroby, uprawiane sporty, aktywny tryb życia itp. Otrzymane wyniki wskazują, że czynniki te mogą mieć duży wpływ na wartości wyznaczanych parametrów i w dalszych badaniach należałoby wyeliminować ich znaczenie. Celowe byłoby również sprawdzenie innych preparatów mających wpływ na stan psychofi-

zyczny człowieka. Należałoby także przeprowadzić badania w grupach osób poddawanych dłuższej terapii poszczególnymi lekami oraz kombinacjami kilku preparatów.

Podziękowanie:

Autorzy dziękują prof. dr hab. Andrzejowi Kowalczykowi z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu za wypożyczenie posturografu.