

AN ATTEMPT TO ESTABLISH OBJECTIVE CRITERIA FOR MORPHOLOGICAL EXAMINATIONS OF HAIRS USING THE IMAGE ANALYSIS SYSTEM

Jarosław BEDNAREK

Chair and Department of Forensic Medicine, L. Rydygier Medical University, Bydgoszcz

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the image analysis system as a tool for forensic hair comparison. 50 blond and 50 brown hairs were examined under a light microscope. Images of every hair were then analysed by Lucia 4.51 image analysis software. Values of RGB components were determined in order to estimate colour ranges for blond and brown hair colours. RGB component values of blond hairs range from 207–182–57 (the darkest) to 243–224–206 (the brightest), whereas those of brown hairs range from 83–74–55 (the darkest) to 222–199–182 (the brightest). Estimated ranges are unique to the colours. This indicates that the RGB model is a reliable basis for forensic hair comparisons. This conclusion was confirmed by comparison of the effectiveness of the traditional and the RGB method: the latter method provided better results.

KEY WORDS: Hair; Personal identification; Image analysis.

*Problems of Forensic Sciences, vol. LVI, 2003, 63–75
Received 8 March 2003; accepted 1 April 2004*

INTRODUCTION

Human hair is a biological material that is frequently associated with crime scenes. It can remain there as a consequence of being pulled out by force or natural shedding due to the growth phase of the hair, followed by transfer onto other objects or persons [2, 5, 6]. This feature of human hairs means that they are used for identification of people associated with a crime and can be used as evidence in the subsequent trial.

Morphological comparative examination is a method of hair analysis that has been used for investigation purposes since the end of the 19th century [2] and has been applied in Poland after World War II [4]. The expert's task is to perform microscopic examinations, describe and compare morphological traits characteristic of hairs collected at the crime scene with specific traits ascertained in reference hairs taken from suspects or victims. The aim of such a study is to identify the personal origin of hairs as well as to assess their evidential usefulness in the trial [2].

As in the case of other criminalistics methodologies, the main issue linked with morphological hair analyses is the evidential value of this method. The study of morphological characteristics of hairs has revealed the existence of significant variability depending on the site of collection (head, armpit, pubes, chest) from an individual person [6]. On the other hand, many morphological profiles of hairs originating from different persons reveal similarity [5].

Hence, because of minimal evidential value, morphological traits are rarely useful in the process of personal identification. Progress made in the field of molecular technologies means that classical morphological analysis has been replaced by analysis of polymorphic DNA sequences [6].

Because of the tiny amounts of nuclear DNA present in single hairs collected at crime scenes and its significant degradation, the major method applied to personal identification of hair samples is analysis of mitochondrial DNA [3]. Because mitochondrial DNA analysis is known to be a time-consuming and expensive method, it must be preceded by preliminary selection of hairs based on morphological study. Animal as well as human hairs characterised by completely different morphological traits relative to reference hairs can be eliminated from further analysis at this stage.

The trait that best differentiates hairs is their colour [6]. That is why colour is the most important trait in comparative studies of hairs. Unfortunately, this biological feature is a qualitative trait and as a consequence is subjectively perceived and described by the observer. This can result in different kinds of complications and inconsistencies, especially when, for various reasons (e.g. questioning of the expert report), the same evidence material is studied by more than one expert.

Up to now, many systems of hair traits classification have been proposed, including a system of colour classification [2, 5, 6]. However, the describing of hairs has not been standardised. Experts can apply any of the proposed schemes or even use their own, often not very precise, criteria of colour description.

A reasonable solution to this problem could be the application of the latest optical and computer technologies. Image analysis systems developed in recent years give the opportunity for detection and analysis of colours. These systems consist of a digital camcorder or camera linked to a computer equipped with appropriate analysis software. In the case of colour analysis of hairs, the camcorder or camera can be coupled with a microscope, from which images will be transmitted to the computer.

Differently to traditional methods, where colour is subjectively characterised by an adjectival phrase, colour detected by an analyser can be precisely characterised in the digital manner. The way in which the image analysis software codes particular colours depends on the model chosen by the

operator. Among available models are HSB (describing shade, saturation and brightness of colour), HSI (describing shade, saturation and intensity of colour), CMY (subtractive mix of colours: cyan, magenta and yellow) and the RGB model (colour characterised by values of saturation for three basic component colours – red, green and blue) [1].

The last of the above mentioned models seems to be the simplest, and hence the most suitable for establishing objective descriptive criteria for hair colours. This model reflects perception properties of the human eye, which can perceive almost all colours in the form of merely 3 beams of light of defined spectrum width, mixed together in precisely defined proportions [1]. The components of the RGB system are three colours – red (R), green (G) and blue (B). On the basis of this model and using the image analysis system, every colour can be recorded as a unique code consisting of three digits (each in the range from 0 to 255) describing the level of saturation for component colours [1].

The primary aim of this work is to determine whether hair colours described as “blond” and “brown” fit into the narrow, non-overlapping ranges of the three colour components of the RGB system. Ascertaining such a regularity would prove the usefulness of this system for objective morphological studies. The second aim of this study is to define the practical effectiveness of morphological comparative hair analysis by the above described methodology.

MATERIALS AND METHODS

In order to determine ranges typical for components of the RGB model, evidence material sent to the Department of Forensic Medicine of the Medical University in Bydgoszcz by police and other investigation bodies was used. Hairs were subjected to preliminary microscopic investigation, permitting determination of their colours according to the criteria proposed by Ogle & Fox [5]. At the next step, 50 blond hairs (colour D01-D03 according to Ogle & Fox classification) and 50 brown hairs (colour D21-D25 according to Ogle & Fox classification) were selected at random from amongst them.

In order to check the practical usefulness of the method, an additional 100 hairs were selected at random. This hair had previously been collected from 12 individuals and used as reference material in cases subjected to criminalistic examinations at the Department of Forensic Medicine of the Medical University in Bydgoszcz in the years 2002–2003. Technicians encoded the selected hairs, ascribing a unique number to each of them and preparing a list of numbers relating to each individual from whom material was taken. The prepared list was not available to the researcher before or during

the examination and therefore the individual origin of the analysed hairs was not known. At the next stage, the remaining hairs were subjected to morphological profiling of each individual included in the study using both Ogle & Fox classification [5] and the RGB model. Then, the selected hairs were subjected to microscopic observation, allowing further selection of hairs on the basis of similarities of morphological characteristics to those of reference hairs included in the study. The last step was comparative analysis of results obtained using the two different methods with the real individual identity (using the list that was drawn up during encoding of hairs).

Since a correct view of microscopic hair characteristics can be obtained when the hair is immersed in a medium with refractive index equal or close to the range 1.52–1.54, glycerine (refractive index = 1.49) was used in the preparation of microscopic slides in the case of both techniques [5]. Observations were carried out using 10, 40 and 60 \times magnification. The image of the hair obtained under each magnification was transmitted to a computer in order to perform analysis and create photographic documentation of the study.

Colour analysis was performed using the image analysis system, which includes the following components: Nikon Eclipse E400 light microscope, Panasonic GP-KR222E CCD camera, personal computer equipped with Mutech IV-400 image archiving card and Lucia 4.51 software for image analysis and archiving. In order to obtain appropriate microscopic image mapping in the computer, the following camera input parameters were set: brightness – 142, contrast – 63, shade – 0, saturation – 63.

Determination of intensity of component colours of the RGB model was performed by viewing the image of the analysed hair in the panel of the image analyser, auto-detection of the analysed area, detection of RGB values for all pixels making up the hair image and finally, averaging of values. The result, in the form of three RGB values, constituted a unique code of hair colour.

Results obtained for 50 blond and 50 brown hairs were subjected to statistical evaluation in order to obtain average arithmetical value and standard deviations. The obtained results were used for determination of value ranges characteristic for blond and brown hairs. The percentage of accurate determinations was used for evaluation of the practical usefulness of the RGB model. The effectiveness of both methods was evaluated by the χ^2 exact test.

RESULTS

In the case of blond hairs, the range of intensity of the red component varied from 166 to 251 (average: 225.54, standard deviation: 10.08). The green component had values from 136 to 239 (average: 202.98, standard deviation: 21.18), and the blue component from 103 to 223 (average: 181.28, standard

deviation: 24.66). In turn, brown hairs revealed the following values: red component: from 83 to 222 (average: 148.32, standard deviation: 31.08), green component: from 74 to 199 (average: 126.28, standard deviation: 27.84), blue component: from 55 to 182 (average: 103.82, standard deviation: 27.45). Detailed results are presented in Table I.

TABLE I. PARAMETERS OF THE BASIC COLOURS IN THE RGB MODEL FOR BLOND AND BROWN HAIRS

Basic colour	Parameters	Colour according to Ogle & Fox	
		Blond (D1–D3)	Brown (D21–D25)
R	Average value	225.24	148.32
	Standard deviation	18.08	31.08
	Min.	166	83
	Max.	251	222
G	Average value	202.98	126.28
	Standard deviation	21.18	27.84
	Min.	136	74
	Max.	239	199
B	Average value	181.28	103.82
	Standard deviation	24.66	27.45
	Min.	103	55
	Max.	223	182

From among 100 hairs studied by the traditional method and described according to the criteria proposed by Ogle & Fox [5], correct personal identification was obtained for 74 hairs. The method based on comparative analysis of intensity values noted for components of the RGB model enabled accurate identification of 91 hairs. The χ^2 test for 2×2 association table with one degree of freedom and 0.05 confidence limit revealed that the difference between numbers of appropriate results is statistically significant. The results of comparative analysis are shown in Table II.

DISCUSSION

In the literature devoted to morphological studies of hairs, one can find many proposals for their classification and colour description [2, 5, 6]. These proposals are mainly limited to presentation of all possible colour profiles

and their differentiation. They do not define either colours or borders between shades, leaving this to the interpretation of the researcher. For this reason, application of any of the proposed classifications can not guarantee objective results. Hence, it was necessary to work out a reliable methodology for morphological studies.

TABLE II. RESULTS OF COMPARATIVE STUDIES PERFORMED USING TWO METHODS OF MORPHOLOGICAL ANALYSIS AND VALUE OF THE χ^2 TEST.

Method of comparative analysis	Number of correct identifications	Number of incorrect identifications
Traditional microscopic analysis	74	26
Comparison of values for RGB components	91	9
$\chi^2 = 8.66$ ($DF = 1$, $\alpha = 0.05$, $\chi_{0.05}^2 = 3.841$)		

DF – degree of freedom, α – confidence limit, $\chi_{0.05}^2$ – critical value of the χ^2 test at the confidence limit 0.05.

In the atlas of microscopic characteristics of human hairs published in 1999, Ogle & Fox [5] tried to establish objective criteria for definition and description of colours. The solution proposed by these authors was based on establishing photographic standards of colours and their shades. An objective description would rely on comparison of colour found in microscopically examined hair with the standards published in the atlas. This approach is, however, not satisfactory. Studies performed on the physiology of human perception have revealed that colour shades are perceived in a subjective manner, even in a situation of identical conditions (applied to different observers). This can be probably explained by minor, but still significant differences in the process of perception between different individuals [6]. Hence, in spite of some improvement on hitherto existing models, Ogle & Fox's classification does not constitute a fully satisfactory solution. Examination of the same hair by different experts can result in one expert asserting that its colour is the same as the photographic standard designated light to medium dark, whilst another expert asserts that it corresponds to the standard for medium dark to dark. This is highly probable in situations where the real hair colour shade is close to the border values of the shade ranges proposed by above mentioned authors.

To overcome this drawback, the idea arose of using optical-digital methods, with the role of the researcher being restricted to operation of the image analysis system: the electronic system performs colour detection and de-

scription by a digital code. Application of such methods requires input parameters to be established. Thus, all the following parameters must be established and kept constant for each analysis: microscopic image magnification which is transmitted to the computer, the intensity of the light passing through the slide, the sort of hair fixing medium, as well as the parameters of the optical device receiving the microscopic image (camera or CCD camera).

Application of the image analyser to hair examination must be accompanied by selection of an optimal colour model. The model should be characterised by unambiguous criteria for colours coding and simplicity of maintenance and interpretation of obtained results. It should also allow verification of results of performed observations by (available) image analysis software. The RGB model seems to fulfil all these requirements.

The present research has shown that application of the image analyser under the above described criteria, gives possibilities for reliable determination of ranges typical for colours and shades of hair. This conclusion is supported by the relatively low values of standard deviations calculated for intensities of the analysed colours, which, in turn, proves the existence of narrow, non-overlapping colour ranges. This result indicates that hair colours can be described in a digital manner, without the risk of error originating from the theoretical possibility of overlap in colour ranges.

Assuming average arithmetical values \pm single standard deviation as the standard range for a particular colour, the colour defined in the Ogle & Fox atlas [5] as blond can, according to the results of this study, be defined as being contained within the range of RGB parameters from RGB 207–182–57 (darkest shade) to RGB 243–224–206 (lightest shade). In turn, the colour brown encompasses the range from RGB 117–98–76 (darkest shade) to RGB 179–154–131 (lightest shade). Thus, narrowing of the colour ranges to a single standard deviation allows us to avoid overlap in the RGB ranges for different colours.

The results of the present work also positively verified the assumption that the method based on image analysis and the RGB model gives better results when comparing hairs than traditional microscopic observations. The high percentage of positive results obtained with this method suggests that the change in the role of the expert, who, instead of performing microscopic observations of similarities and differences between colours is expected to notice similarities and differences between values for components of the RGB system, has a beneficial effect on the correctness of the expert report.

The obtained results indicate that the tested method of morphological comparative hair analysis can become a universal approach yielding results that can be simply verified. This method should increase the evidential value of morphological hair analysis and provide the opportunity for preliminary selection of evidence material, which, in turn, should reduce the num-

ber of mitochondrial DNA analyses and thereby cut the cost of expert work. A detailed comparative analysis of results of morphological selection using the RGB model and results of mitochondrial DNA analysis is currently being carried out by the author.

References:

1. Berns R. S., Billmeyer and Salzman's principles of color technology, Willey & Sons, New York 2000.
2. Gaudette B. D., Hair. Comparison: significance of hair evidence, [in:]: Encyclopedia of forensic sciences, Academic Press Inc., San Diego 2000.
3. Holland M. M., Parsons T. J., Mitochondrial DNA sequence analysis – validation and use for forensic casework, *Forensic Science Review* 1999, vol. 11, pp. 22–49.
4. Kuczyński S., Stochaj M., Z problematyki kryminalistycznej ekspertyzy włosów, *Problemy Kryminalistyki* 1975, nr 115–116, s. 360–371.
5. Ogle R. R., Fox M., Atlas of human hair microscopic characteristics, CRC Press, Boca Raton 1999.
6. Robertson J. [ed.], Forensic examination of human hair, Taylor & Francis, London 2001.

WYKORZYSTANIE SYSTEMU ANALIZY OBRAZU DO USTALENIA OBIEKTYWNYCH KRYTERIÓW BADAŃ MORFOLOGICZNYCH WŁOSÓW

Jarosław BEDNAREK

WSTĘP

Włosy ludzkie są materiałem biologicznym często spotykanym na miejscu przestępstwa. Pozostają tam na skutek użycia siły (wyrwania) lub też naturalnego wypadnięcia wynikającego z cyklu rozwojowego włosa, a następnie transferu na inne przedmioty lub osoby [2, 5, 6]. Właściwość ta sprawia, że stanowią one podstawę do identyfikacji osób mających związek ze zdarzeniem, a co za tym idzie – mogą być wykorzystane jako dowód w procesie sądowym.

Metodą badania włosów, która już od końca XIX w. służy dla potrzeb dochodzeniowo-śledczych, jest analiza morfologiczno-porównawcza [2] wykorzystywana w latach powojennych również w Polsce [4]. Zadaniem biegłego jest w tym przypadku mikroskopowa obserwacja, opis i porównanie cech morfologicznych włosów zabezpieczonych na miejscu zdarzenia z cechami włosów porównawczych pobranych od podejrzanych lub ofiar. Celem takich badań jest stwierdzenie przynależności osobniczej włosów i kwalifikacja ich przydatności jako dowodów w procesie sądowym [2].

Tak jak w przypadku innych technik kryminalistycznych, również w odniesieniu do analizy morfologicznej włosów istotny problem stanowi wartość dowodowa jej wyników. Badania cech morfologicznych włosa wykazały istnienie znacznej zmienności w zależności od miejsca pobrania (głowa, okolice pachowe, łonowe, klatka piersiowa) u pojedynczej osoby [6]. Z drugiej strony szereg profili morfologicznych włosów pochodzących od różnych osób wykazuje podobieństwo [5].

Dlatego też obecnie, z uwagi na niewielką przydatność dowodową, cechy morfologiczne rzadko stanowią podstawę w procesie identyfikacji osobniczej. W efekcie rozwoju technik molekularnych analiza morfologiczna została zastąpiona badaniem polimorfizmu DNA [6].

Ze względu na niewielkie ilości oraz znaczny stopień degradacji jądrowego DNA w pojedynczych włosach odnajdywanych na miejscu zdarzenia, główną metodą identyfikacji osobniczej na podstawie włosów jest analiza sekwencji mitochondrialnego DNA [3]. Z uwagi na czasochłonność i wysokie koszty takich badań istnieje konieczność dokonywania wstępnej selekcji włosów w oparciu o porównawczą analizę morfologiczną. Zadaniem takiej analizy jest wyeliminowanie z dalszych badań włosów zwierzęcych oraz włosów ludzkich charakteryzujących się skrajnie odmiennymi cechami morfologicznymi w odniesieniu do włosów porównawczych.

Cechą, która najlepiej indywidualizuje włos, jest jego barwa [6]. Dlatego też ma ona największe znaczenie w badaniach porównawczych. Niestety jest to cecha biologiczna o charakterze jakościowym, czego konsekwencją jest jej subiektywny odbiór i opis przez obserwatora. Powoduje to różnego rodzaju komplikacje i niespójności,

zwłaszcza gdy z różnych powodów (np. podważenie ekspertyzy) ten sam materiał badany jest przez więcej niż jednego badacza.

Dotychczas zaproponowano szereg systemów klasyfikacji cech włosów, w tym także klasyfikacji barw [2, 5, 6]. Nie dokonano jednak unifikacji sposobu opisu włosów. Badacze mogą więc wykorzystywać dowolny z zaproponowanych schematów lub też stosować własne, często niezbyt precyzyjne, kryteria opisu barw.

Rozwiązaniem tego problemu może być wykorzystanie współczesnych osiągnięć techniki optycznej i komputerowej. Skonstruowane w ostatnich latach systemy analizy obrazu wyposażone są w opcję detekcji i analizy barwy. Systemy takie składają się z kamery cyfrowej lub aparatu cyfrowego połączonego z komputerem wyposażonym w oprogramowanie analizujące. W przypadku analizy barw włosów, kamera lub aparat mogą być zespolone z mikroskopem, z którego będą transmitować obraz do komputera.

W odróżnieniu od tradycyjnych metod, w których barwie nadaje się subiektywne określenie przymiotnikowe, wykryta przez analizator barwa może być precyzyjnie scharakteryzowana w formie cyfrowej. Sposób kodowania barw przez oprogramowanie do analizy obrazu jest uzależniony od wybranego przez badacza modelu. Dostępne są m.in. modele HSB (opisujący odcień, nasycenie i jasność barwy), HSI (opisujący odcień, nasycenie i intensywność barwy), model CMY (subtraktywne mieszanie barw: sinoniebiskiej „cyjan”, purpurowej „magenta” i żółtej „yellow”) oraz model RGB (barwa charakteryzowana poprzez wartości nasycenia trzech składowych barw podstawowych – czerwonej, zielonej i niebieskiej) [1].

Ostatni z wymienionych modeli wydaje się najprostsz, a przez to najstosowniejszy do ustalenia obiektywnych kryteriów opisu barw włosów. Model ten stanowi odzwierciedlenie właściwości percepcyjnych ludzkiego oka, które może odbierać wrażenia prawie wszystkich barw w postaci zmieszanych ze sobą w ściśle ustalonych proporcjach jedynie 3 wiązek światła o określonej szerokości widma [1]. Składowe systemu RGB to barwy czerwona (R), zielona (G) i niebieska (B). Na bazie tego modelu i przy pomocy systemu do analizy obrazu, każdej barwie można nadać unikalny kod składający się z trzech cyfr (od 0 do 255) określających poziom nasycenia barw składowych [1].

Pierwszym celem niniejszej pracy jest próba ustalenia, czy barwy włosów określanych mianem „blond” i „brązowe” zawierają się w wąskich nienakładających się zakresach barw składowych systemu RGB. Stwierdzenie takiej prawidłowości będzie stanowiło dowód przydatności tego systemu do obiektywnych badań morfologicznych. Drugim zadaniem badawczym jest określenie praktycznej skuteczności analizy morfologiczno-porównawczej włosów przy pomocy wyżej opisanej metody.

MATERIAŁ I METODY

W celu określenia zakresów składowych modelu RGB wykorzystano materiał badany w ostatnich latach w Katedrze i Zakładzie Medycyny Sądowej Akademii Medycznej w Bydgoszczy na zlecenie organów dochodzeniowo-śledczych. Włosy zostały poddane wstępnym badaniom mikroskopowym w celu ustalenia barwy według kryteriów zaproponowanych przez Ogle'a i Foxa [5]. Następnie wylosowano spośród nich 50 włosów blond (barwa D01–D03 w klasyfikacji Ogle'a i Foxa) i 50 włosów brązowych (barwa D21–D25 w klasyfikacji Ogle'a i Foxa).

Z kolei, aby ustalić praktyczną przydatność opisanej metody, ponownie wylosowano 100 włosów, które pobrano wcześniej jako materiał porównawczy od 12 osób do ekspertyz kryminalistycznych prowadzonych w Katedrze i Zakładzie Medycyny Sądowej Akademii Medycznej w Bydgoszczy w latach 2002–2003. Pracownicy techniczni dokonali zakodowania wylosowanych włosów poprzez nadanie każdemu z nich numeru i sporządzenie listy numerów włosów pochodzących od każdej z osób, od której pobrano materiał. Zarówno przed badaniami, jak i w ich trakcie, obserwator nie miał dostępu do tej listy i dzięki temu nie znał przynależności osobniczej żadnego z włosów. Następnie na podstawie pozostałych włosów ustalono profil morfologiczny każdej osoby, zarówno wg klasyfikacji Ogle'a i Foxa [5], jak i modelu RGB. W dalszej kolejności dokonano obserwacji mikroskopowych wylosowanych włosów i ich selekcji pod kątem podobieństwa do cech morfologicznych włosów badanych osób. Ostatnim krokiem było porównanie wyników selekcji przeprowadzonej przy pomocy obydwu metod z rzeczywistą przynależnością osobniczą odczytaną na podstawie listy sporządzonej podczas kodowania włosów.

Ponieważ prawidłowa widoczność cech mikroskopowych włosa możliwa jest po zatopieniu go w substancji charakteryzującej się współczynnikiem refrakcji równym lub zbliżonym do zakresu 1,52–1,54, do wykonania preparatów mikroskopowych w przypadku obydwu zadań badawczych zastosowano glicerynę (współczynnik refrakcji = 1,49) [5].

Obserwacji dokonywano przy powiększeniu 10, 40 i 60-krotnym. Obraz włosa przy każdym powiększeniu przekazywano do komputera w celu dokonania jego analizy i wykonania dokumentacji fotograficznej.

Analizę barw przeprowadzono przy użyciu systemu analizy obrazu, w skład którego wchodziły następujące komponenty: mikroskop świetlny Nikon Eclipse E400, kamera CCD Panasonic GP-KR222E, komputer PC wyposażony w kartę do akwizycji obrazu Mutech IV-400 oraz oprogramowanie do analizy i archiwizacji obrazu Lucia 4.51. W celu właściwego odwzorowania obrazu mikroskopowego w komputerze wprowadzono następujące ustawienia wejściowe kamery: jasność – 142, kontrast – 63, odcień – 0, nasycenie – 63.

Określenia natężenia barw składowych modelu RGB dokonano poprzez otwarcie obrazu badanego włosa w panelu analizatora obrazu, autodetekcję badanego obszaru, detekcję wartości RGB wszystkich pikseli składających się na obraz włosa i ostatecznie uśrednienie tych wartości. Wynik w formie trzech wartości RGB stanowił unikalny kod barwy włosa.

Otrzymane wyniki dla 50 włosów blond i 50 włosów brązowych poddano analizie statystycznej w celu określenia średniej arytmetycznej i odchyłeń standardowych. Na podstawie otrzymanych wyników wyznaczono zakresy wartości charakterystycznych dla włosów blond i włosów brązowych. Z kolei wyniki badań praktycznej przydatności modelu RGB oceniano na podstawie odsetka trafnych spostrzeżeń. Skuteczność obydwu metod porównywano testem zgodności χ^2 .

WYNIKI

W przypadku włosów blond zakres natężenia składowej barwy czerwonej wahał się od 166 do 251 (średnia: 225,54, odchylenie standardowe: 18,08). Składowa barwa

zielona przyjmowała wartości od 136 do 239 (średnia: 202,98, odchylenie standardowe: 21,18), a składowa niebieska od 103 do 223 (średnia: 181,28, odchylenie standardowe: 24,66). Z kolei włosy brązowe wykazywały następujące zakresy wartości: składowa czerwona: od 83 do 222 (średnia: 148,32, odchylenie standardowe: 31,08), składowa zielona: od 74 do 199 (średnia: 126,28, odchylenie standardowe: 27,84), składowa niebieska: od 55 do 182 (średnia: 103,82, odchylenie standardowe: 27,45). Szczegółowe wyniki przedstawiono w tabeli I.

Pośród 100 włosów badanych metodą tradycyjną i opisywanych zgodnie ze schematem zaproponowanym przez Ogle'a i Foxa [5] poprawnie oceniono przynależność osobniczą 74 włosów. Z kolei porównane wartości natężenia barw składowych modelu RGB pozwoliło na poprawną identyfikację 91 włosów. Test χ^2 dla czteropolowej tablicy asocjacyjnej przy jednym stopniu swobody na poziomie ufności 0,05 wykazał, że różnica pomiędzy liczbami trafnych spostrzeżeń jest statystycznie istotna. Wyniki analizy porównawczej przedstawiono w tabeli II.

DYSKUSJA WYNIKÓW

W piśmiennictwie poświęconym badaniom morfologii włosów zawarto szereg propozycji dotyczących sposobów klasyfikacji i opisu barw [2, 5, 6]. Ograniczają się one jednak głównie do wymieniienia listy możliwych profili barwnych i ich zróżnicowania. Nie definiują ani barw, ani granic pomiędzy odcieniami, pozostawiając to swobodnej interpretacji obserwatora. Dlatego też wykorzystanie którejkolwiek z proponowanych klasyfikacji nie gwarantuje obiektywnych wyników. Konieczne zatem było opracowanie rzetelnej metodyki badań morfologicznych.

W opublikowanym w 1999 roku atlasie cech mikroskopowych ludzkich włosów Ogle i Fox [5] podjęli próbę ustalenia obiektywnych kryteriów określenia i opisu barwy. Rozwiązanie, jakie przyjęli autorzy, opierało się na wyznaczeniu fotograficznych wzorców kolorów i ich odcieni. Obiektywny opis miałby odbywać się poprzez porównanie barwy obserwowanego pod mikroskopem włosa z wzorcem zamieszczonym w atlasie. Rozwiązanie to nie jest jednak zadawalające. Badania fizjologii procesu widzenia u człowieka wykazały, że odcienie barwne postrzegane są subiektywnie, nawet jeżeli proces widzenia barwy zachodzi w jednakowych warunkach. Wynika to prawdopodobnie z niewielkich, ale jednak zauważalnych międzyosobniczych różnic w przebiegu procesu postrzegania barw [6]. Dlatego mimo pewnego usprawnienia dotychczasowych modeli, klasyfikacja Ogle'a i Foxa nie stanowi zadowalającego rozwiązania. Oglądając ten sam włos, jeden z badaczy może uznać, że jego barwa jest tożsama z archetypem fotograficznym oznaczającym odcień od jasnego do średnio-ciemnego, drugi zaś, że odpowiada ona wzorcowi prezentującemu zakres od średnio-ciemnego do ciemnego. Jest to wysoce prawdopodobne w sytuacji, gdy odcień barwy włosa jest bliski wartości granicznych zakresów odcieni zaproponowanych przez cytowanych autorów.

Dlatego też powstała idea wykorzystania metod optyczno-cyfrowych, które – przejmując na siebie detekcję barw i ich opis w formie kodów cyfrowych – rolę obserwatora sprowadzają do obsługi systemu analizy obrazu. Wykorzystanie takich metod wiąże się oczywiście z koniecznością ustalenia stałych parametrów wejściowych. Tak więc powiększenie obrazu mikroskopowego, jaki jest transmitowany do kompu-

tera, natężenie światła przechodzącego przez preparat, rodzaj substancji, w jakiej zanurzony jest włos w preparacie oraz parametry urządzenia optycznego odbierającego obraz mikroskopowy (kamera CCD lub aparat cyfrowy) muszą być stałe przy każdym pomiarze barw.

Wykorzystując analizator obrazu do badań włosów, należy również liczyć się z kwestią wyboru optymalnego modelu barw. Model ten powinien charakteryzować się jednoznacznym kryterium kodowania barwy oraz prostotą obsługi i interpretacji wyników. Powinien również pozwalać na weryfikację wyników obserwacji przy pomocy dowolnego oprogramowania do analizy obrazu. W świetle tych wymagań najwłaściwszym wydaje się być model RGB.

Jak wykazały niniejsze badania, zastosowanie analizatora obrazu przy spełnieniu powyższych kryteriów daje możliwość rzetelnego określenia zakresów charakterystycznych dla barw i odcieni włosa. Świadczą o tym stosunkowo niewielkie wartości odchyłeń standardowych natężenia badanych barw, co z kolei oznacza istnienie wąskich, nienakładających się zakresów barwnych. Wynik ten wskazuje, że barwy włosów można opisać w formie cyfrowej, nie ryzykując popełnienia błędu wynikającego z możliwości nakładania się zakresów

Przyjmując za zakres wzorcowy danej barwy wartości średniej arytmetycznej \pm jedno odchylenie standardowe, barwę określoną w atlasie Ogle'a i Foxa [5] jako blond można w świetle uzyskanych przez autorów niniejszej pracy wyników zdefiniować jako zawierającą się w zakresie parametrów od RGB 207–182–57 (odcień najciemniejszy) do RGB 243–224–206 (odcień najjaśniejszy). Z kolei barwa brązowa obejmuje zakres od RGB 117–98–76 (odcień najciemniejszy) do RGB 179–154–131 (odcień najjaśniejszy). Tak więc zawężenie zakresów do jednego odchylenia standardowego pozwoliło na uniknięcie nakładania się zakresów wartości RGB dla różnych barw.

Wyniki badań pozytywnie zweryfikowały również pogląd, że metoda wykorzystująca analizator obrazu i model barwny RGB sprawdza się znacznie lepiej w praktyce porównywania włosów niż tradycyjne obserwacje mikroskopowe. Uzyskany przy pomocy tej metody wysoki odsetek poprawnych kwalifikacji wskazuje, że zmiana funkcji badacza z mikroskopowej obserwacji podobieństw i różnic między kolorami do obserwacji podobieństw i różnic pomiędzy wartościami składowych systemu RGB jest korzystnym zabiegiem z punktu widzenia poprawności ekspertyzy.

W świetle uzyskanych rezultatów można przyjąć, że testowana metoda badań morfologiczno-porównawczych włosów może stać się techniką uniwersalną, której wyniki będą mogły być w prosty sposób zweryfikowane. Metoda ta pozwoli na podwyższenie wartości dowodowej analizy morfologicznej włosów oraz przyczyni się do obniżenia liczby, a tym samym kosztów badań DNA mitochondrialnego, poprzez możliwość dokonania rzetelnej wstępnej selekcji materiału dowodowego. Weryfikacja ostatniej z wymienionych kwestii poprzez porównanie wyników selekcji morfologicznej z wykorzystaniem modelu barw RGB z wynikami badań DNA mitochondrialnego jest obecnie przedmiotem badań prowadzonych przez autora.