

## The “blind age assessment”: applicability of Greulich and Pyle, Demirjian and Mincer aging methods to a population of unknown ethnic origin

### *La stima dell'età “in cieco”: applicazione dei metodi Greulich e Pyle, Demirjian e Mincer su una popolazione di origine etnica sconosciuta*

M. Pechnikova<sup>1,2,3</sup> • D. Gibelli<sup>1,2</sup> • D. De Angelis<sup>1,2</sup> • F. de Santis<sup>4</sup> • C. Cattaneo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>LABANOF, Laboratorio di Antropologia e Odontologia Forense, Sezione di Medicina Legale, Università degli Studi di Milano, Via Mangiagalli 37, Milano, Italy

<sup>2</sup>DMU - Dipartimento di Morfologia Umana e Scienze Biomediche, Università degli Studi di Milano, Via Mangiagalli 37, Milano, Italy

<sup>3</sup>Laboratory of Biological and Molecular Anthropology, Institute of Experimental Biology, Faculty of Science, Masaryk University, 60200 Brno, Czech Republic

<sup>4</sup>Department of Radiology, Sesto S. Giovanni Hospital, Clinical Institute of Conversion Training, 20099 Sesto San Giovanni (MI), Italy  
Correspondence to: C. Cattaneo, Tel.: +39-02-50315679, Fax: +39-02-50315724, e-mail: cristina.cattaneo@unimi.it

Received: 8 September 2010 / Accepted: 12 January 2011 / Published online: 4 June 2011

© Springer-Verlag 2011

#### Abstract

**Purpose.** Age estimation is one of the most crucial issues in case of unknown deceased as well as in the living and is very frequently of radiological interest. Three methods for age estimation have been designated as the most reliable among the others: Greulich and Pyle, Demirjian and Mincer. The literature provides several studies concerning their applicability in different geographic contexts. However, not always can ancestry be ascertained, for example, in the case of badly preserved corpses. In these cases, age assessment must be performed without the corrections suggested by the literature for different ethnic groups. One may therefore wonder how reliable the result of age assessment performed without knowing the racial group to which the subject belongs may be. This study aimed at testing the applicability of the Greulich and Pyle Atlas, the Demirjian and the Mincer methods on a mixed population to compare skeletal and dental methods of age estimation.

**Materials and methods.** X-ray films of 167 subjects aged between 4 and 31 years from more than 18 countries were recruited. One hundred and nine orthopantomographs (OPG) of children aged between 4 and 15.5 years were evaluated by Demirjian's method; whenever the highest Demirjian score was reached (31 cases), the Mincer method was applied. The skeletal maturation of 54 subjects aged between 7 and 19 years was determined by the Greulich and Pyle method.

#### Riassunto

**Obiettivo.** La stima dell'età costituisce uno degli argomenti più cruciali nel campo del riconoscimento dei cadaveri sconosciuti e dei viventi, e molto frequentemente risulta di interesse radiologico. Tre metodi sono stati scelti come più affidabili: il metodo Greulich e Pyle, il Demirjian ed il Mincer. La letteratura ha sviluppato diversi studi per verificare la loro applicabilità nei diversi contesti geografici. Tuttavia, non sempre il gruppo etnico di appartenenza può essere accertato, per esempio nei casi di cadaveri in avanzato stato di decomposizione: in tali casi la stima dell'età deve essere eseguita senza le correzioni fornite dalla letteratura per i diversi gruppi etnici. È necessario pertanto approfondire quanto sia affidabile il risultato fornito dai metodi di Greulich e Pyle, Demirjian e Mincer su una popolazione di origine etnica mista, allo scopo di mettere a confronto i metodi scheletrici e dentari di stima dell'età.

**Materiali e metodi.** Sono state raccolte le radiografie di 167 soggetti di età compresa fra i 4 ed i 31 anni provenienti da più di 18 paesi. Centonove ortopantomografie di bambini di età compresa fra i 4 ed i 15,5 anni sono state valutate con metodo Demirjian; nei casi in cui è stato raggiunto il massimo punteggio Demirjian, si è applicato il metodo Mincer. La maturazione scheletrica di 54 soggetti di età compresa fra i 7 ed i 19 anni è stata quindi determinata con il metodo di Greulich e Pyle.

**Results.** The lowest average variance from chronological age was shown by the Greulich and Pyle method, followed by Demirjian. The Mincer method showed very high mean variances.

**Conclusions.** Mean variances from the different methods do not significantly differ from data reported in the literature and demonstrate that the reliability of Demirjian, and Greulich and Pyle as they stand may be applied satisfactorily to remains or individuals of unknown ethnic origin.

**Keywords** Forensic radiology · Age estimation · Greulich and Pyle Atlas · Demirjian · Mincer

**Risultati.** La minor differenza media dall'età cronologica è stata evidenziata dal metodo Greulich e Pyle, seguito dal Demirjian. Il metodo Mincer ha mostrato differenze medie molto elevate.

**Conclusioni.** Le differenze medie fra i diversi metodi non differiscono significativamente dai dati riportati in letteratura e dimostrano che i metodi Demirjian e Greulich e Pyle possono essere applicati con successo a resti o individui di origine etnica sconosciuta.

**Parole chiave** Radiologia forense · Stima dell'età · Atlante di Greulich e Pyle · Metodo Demirjian · Metodo Mincer

## Introduction

Age estimation is one of the most relevant issues for juridical consequences and at the same time a difficult issue in forensic radiology, both in cases of unknown corpses and in the living (although with different aims) from imputability of individuals who do not have legal documents to adoption. Several methods of age estimation based on skeletal or odontological growth actually exist. Some reviews of these methods have been made in the last few years, and with time, the first guidelines have begun to appear in the forensic scenario [1–3]. Ethnic variability is undoubtedly a relevant issue in age estimation, which is shown also by the increase in the number of population studies, leading in some cases to the development of specific sections within scientific journals. Although it seems recommendable to apply population-specific methods, sometimes, ethnicity is not known.

In the case of unknown deceased, for example, the specific ethnic group the subject belongs to can only be hypothesised, and if the corpse is badly preserved, even the main race can be defined only with difficulty. The few studies concerning the epidemiology of unknown deceased individuals state that, on average, one third of all cases concern charred bodies or corpses in advanced decomposition, with clear limits in racial assessment [4]. This means that age assessment is generally deprived of the information concerning the efficiency and reliability shown by skeletal and odontological methods in relation to ethnic variables. But how safely different skeletal and odontological radiological methods can be applied to subjects of unknown ethnicity is not clear.

The few guidelines existing in the literature suggest three methods as gold standards for use with the living: the Greulich and Pyle Atlas, the Demirjian and the Mincer methods. The reference atlas of Greulich and Pyle is the most widely used method for bone-age determination from hand and wrist

## Introduzione

La stima dell'età è uno degli argomenti più rilevanti in ambito antropologico per le conseguenze giuridiche, e nello stesso tempo una delle applicazioni più complesse della radiologia forense, sia nell'ambito del riconoscimento dei cadaveri sconosciuti che nel caso di viventi, seppur con fini differenti. Diversi metodi di stima dell'età, sia scheletrici che dentari, sono stati sviluppati dalla letteratura, e negli ultimi anni sono iniziate a comparire le prime revisioni sui diversi metodi formulati e le prime linee-guida da applicare allo scenario forense [1–3]. La variabilità etnica è indubbiamente un fattore importante nell'ambito della stima dell'età, come dimostrato anche dal crescente numero di studi di popolazione che hanno portato in alcuni casi allo sviluppo di specifiche sezioni nell'ambito dei giornali scientifici; anche se è raccomandabile applicare i necessari fattori di correzione derivanti da tali studi, a volte la razza del soggetto di cui è necessario eseguire la stima dell'età non è conosciuta.

Nel caso di cadaveri sconosciuti ad esempio lo specifico gruppo etnico di appartenenza può essere solo ipotizzato, e se il cadavere è in avanzato stato di decomposizione, persino il gruppo razziale principale può essere solo definito con estrema difficoltà. I pochi studi riguardanti la casistica di cadaveri sconosciuti evidenziano che in media un terzo di tutti i casi riguarda cadaveri carbonizzati o corpi in avanzato stato di decomposizione, con evidenti limiti per la diagnosi di razza [4]. Questo significa che la stima dell'età in tali casi risulta mancante dell'informazione riguardante l'efficienza e l'affidabilità degli specifici metodi scheletrici e dentari in relazione alle variabili etniche. Tuttavia non è ancora chiaro quanto può essere sicura una stima dell'età effettuata tramite metodi scheletrici e dentari basati su immagini radiografiche nel caso di soggetti privi di indicazioni sul gruppo razziale di appartenenza.

Allo stato attuale, le poche linee-guida disponibili in

radiographs [5]. The standard charts were developed from radiological examinations of Caucasoid children between 1931 and 1942. Later studies showed that ethnic and racial differences must be taken into account in assessing skeletal maturation [6–9]. Ethnic variability has been considered by the literature: the Greulich and Pyle method, for example, has shown the widest limits in black female subjects, and some authors suggest that the atlas in these cases should not be applied [10]. Different authors in fact state that other skeletal tests, such as Tanner–Whitehouse II, should be the method of choice, thanks to the higher precision shown in different experimental studies [11, 12]. However, the literature does not provide a univocal indication, as in some cases, the difference of errors between the two methods does not seem significant [13]. In any case, the Greulich and Pyle Atlas is currently one of the most common methods used for assessing skeletal age – not only in forensic, but also in clinical, practice, especially among radiologists – since it is easy and fast to use [13, 14].

The Demirjian method for assessing dental maturity was first described in 1973, applied on a French Canadian population, and is widely used and accepted thanks to an easy and user-friendly maturity scoring system, even though the procedure does not consider racial differences. A score is given to the dental elements, according to root development, from A to H: A indicates the first stage of dental development, with the mineralisation of tooth cusps; H shows that the root growth is complete. Each stage has an assigned number score; the sum of scores from the seven permanent teeth (two incisors, one canine, two premolars and two molars) gives the age estimation [15]. Different authors have so far applied the method on several populations, and most ascertained that the maturity curves elaborated for the Demirjian population did not fit [16–18] and that the dental maturity in their respective populations was advanced [17, 19–32]. Less commonly, age was underestimated by the Demirjian method [31–33], although in these cases, socioeconomic factors may have a role. Different authors therefore stated that the method is not applicable to specific populations [34–37]. Willems et al. [38] first attempted to standardise the Demirjian method for a Belgian population, although the authors state that the revised version may be not applicable to other geographical contexts. Other authors pointed out that the Demirjian method, although with a general overestimation, shows similar results in different populations, limiting the importance of the racial factor [39, 40].

From Demirjian charts for evaluating dental growth, another method was developed based on the study of third molar (M3) development, described by Mincer et al. [41]. The same stages (A–H) developed by Demirjian were applied to the third molar to obtain some information concerning the age estimation in subjects older than 16 years. Their study provides age thresholds for Amer-

*letteratura indicano tre metodi come il gold standard per la stima dell'età: l'atlante di Greulich e Pyle, il metodo Demirjian ed il metodo Mincer. L'atlante di riferimento di Greulich e Pyle è il metodo utilizzato più largamente utilizzato per la stima dell'età scheletrica da radiografie di mano e polso [5]. Le radiografie di riferimento furono raccolte da bambini di razza caucasoida negli anni 1931–1942. Studi successivi mostrarono che le differenze etniche devono essere prese in considerazione nell'ambito della valutazione dell'età scheletrica [6–9]. La variabilità etnica è stata infatti considerata dalla letteratura: il metodo di Greulich e Pyle, ad esempio, ha mostrato limiti consistenti quando è stato utilizzato per stimare l'età di femmine negroidi, tanto che diversi autori suggeriscono che l'atlante in questi casi non dovrebbe essere utilizzato [10]. Diverse fonti infatti sottolineano che in questi casi altri test come il Tanner-Whitehouse II dovrebbero essere la metodiche di scelta, come mostrato dalla maggiore precisione evidenziata dall'applicazione di tale metodo in diversi studi sperimentali [11, 12]; tuttavia attualmente non esiste un'indicazione univoca in tal senso, poiché in alcuni casi la differenza degli errori mostrata dai due metodi non sembra significativa [13]. In ogni caso, l'atlante di Greulich e Pyle è attualmente uno dei metodi più comuni di stima dell'età non solo in ambito forense, ma anche nella pratica clinica, specialmente fra i radiologi, poiché è facile e rapido da usare [13, 14].*

*Il metodo Demirjian per la stima dell'età dentaria è stato descritto per la prima volta nel 1973, ed è stato tarato su una popolazione franco-canadese; oggi è ampiamente accettato ed utilizzato, grazie anche alla facilità di utilizzo del suo metodo a punteggio, sebbene il metodo non prenda in considerazione le differenze etniche. Un punteggio viene assegnato ad ogni elemento dentario in base al grado di sviluppo della radice, dallo stadio A all'H; A indica il primo stadio di sviluppo dentario, con la mineralizzazione delle cuspidi dentarie, mentre lo stadio H indica che l'accrescimento radicolare è completo. Ogni stadio ha un determinato punteggio, variabile per ogni elemento dentario: la somma dei punteggi degli elementi dentari di una emiarcata tranne il terzo molare (i due incisivi, il canino, i due premolari e i primi due molari) fornisce la stima dell'età [15]. Diversi autori hanno applicato finora il metodo a differenti contesti geografici: molti di loro hanno verificato che le curve di maturità elaborate da Demirjian non concordavano con i dati relativi a singoli gruppi etnici [16–18], e che la maturazione dentaria delle rispettive popolazioni era più avanzata [17, 19–32] o, meno frequentemente, verificavano una sottostima dell'età derivante dall'applicazione del metodo [31–33], sebbene in tali casi i fattori socio-economici potrebbero avere un ruolo non trascurabile. Alcuni autori osservano che il metodo non può essere applicato a specifici gruppi etnici [34–37]. Willems*

ican whites (14–24 years old) and blacks (stages F–H). More recent standards for the black population were then assessed by Blakenship et al. [42]. Several authors applied the method to some Asian and European populations [42–51]. In the majority of cases, the method is applicable [43, 44, 46, 48, 50], although some differences in timing of third molar development were observed between populations [42, 49, 51, 52–54], in part because the M3 is the most variable tooth in the dentition.

These methods are commonly considered by different authors as the golden standard for a standardised age-estimation procedure and are the most commonly used in forensic practice. Nevertheless, very few studies have been performed to verify their reliability if the race is unknown, as commonly occurs in the case of unknown deceased or the living without documents. This study aimed to ascertain the applicability of the three most commonly used methods of age estimation (Greulich and Pyle, Demirjian, Mincer in their original versions) to a population of unknown ethnic origin in order to verify their reliability.

## Materials and methods

One hundred and sixty-seven subjects (78 males, 89 females) of various ethnic origin (Egypt, Morocco, Senegal, Argentina, Brazil, Colombia, Ecuador, Peru, Albania, Bulgaria, Moldavia, Romania, Greece) aged between 4 and 31 years (Table 1) who underwent hand and wrist radiography and an orthopantomography (OPG) between 1999 and 2008 in the Department of Radiology of the Hospital of Sesto S. Giovanni (Milan) were included in the study. Skeletal maturation of hand and wrist from 54 subjects (25 males, 29 females) aged between 7 and 19 years of age was determined by the Greulich and Pyle method. The Demirjian method was applied to 140 OPG (67 males, 73 females, aged between 4 and 15.5 years). This method found 31 subjects >16 years which were further examined

**Table 1** Details of hand and wrist radiographs and orthopantomographs

	Male	Female	Total
Hand-wrist radiographs, n	25	29	54
Orthopantomographs, n	67	73	140

**Tabella 1** Dettagli delle radiografie di mano e polso ed ortopantomografia (OPT) selezionati per lo studio

	Maschi	Femmine	Totale
Radiografie di mano e polso, n	25	29	54
OPT, n	67	73	140

et al. [38] per primi tentarono di standardizzare il metodo Demirjian alla popolazione belga, sebbene gli autori stessi osservino che il metodo revisionato potrebbe non essere applicabile ad altri contesti geografici [38]. D'altra parte, altri autori sottolineano che il metodo Demirjian, sebbene con una generale e costante sovrastima, produce risultati equiparabili in diverse popolazioni, il che limiterebbe l'importanza del fattore etnico nell'applicazione di tale metodo [39, 40].

Dagli schemi di Demirjian per la valutazione dell'accrescimento dentario, un altro metodo è stato sviluppato, basato sullo studio del terzo molare (M3) descritto da Mincer et al. [41]. Gli stessi stadi (da A ad H) creati da Demirjian sono stati applicati al terzo molare, allo scopo di ottenere informazioni sull'età di soggetti sopra i 16 anni, limite del metodo Demirjian. Gli studi di Mincer consentirono di estrapolare i valori di riferimento per la popolazione bianca americana (dai 14 ai 24 anni) e per gli afroamericani (standardizzati solo dallo stadio F allo stadio H). Più recentemente nuovi standard di riferimento per la popolazione afroamericana sono stati sviluppati da Blakenship et al. [42]. Diversi autori hanno applicato il metodo anche ad alcune popolazioni asiatiche ed europee [42–51]; nella maggior parte dei casi il metodo è applicabile [43, 44, 46, 48, 50], sebbene alcune differenze fra le diverse popolazioni nello sviluppo del terzo molare siano state descritte nelle diverse popolazioni [42, 49, 51, 52–54], anche a causa delle variabilità di sviluppo di tale elemento dentario.

Quelli sopra elencati sono comunemente considerati dai diversi autori come i metodi di elezione per la stima dell'età e sono attualmente i più utilizzati in ambito forense; tuttavia, pochissimi studi sono stati condotti per verificare la loro affidabilità nei casi in cui l'etnia del soggetto non sia conosciuta, come spesso accade per i cadaveri sconosciuti o per i viventi privi di documenti. Questo studio mira a verificare l'applicabilità dei tre metodi di stima dell'età più utilizzati in ambito forense (Greulich e Pyle, Demirjian, Mincer nelle loro versioni originali), applicati su una popolazione di origine etnica ignota, allo scopo di verificare in tale delicata situazione la loro affidabilità.

## Materiali e metodi

Sono stati inclusi nello studio 167 soggetti (78 maschi, 89 femmine) di origine etnica differente (Egitto, Marocco, Senegal, Argentina, Brasile, Colombia, Ecuador, Perù, Albania, Bulgaria, Moldavia, Romania, Grecia) di età compresa fra i 4 ed i 31 anni (Tabella 1) che si sottoposero a radiografia di mano e polso ed ortopantomografia (OPT) fra il 1999 ed il 2008 presso il Dipartimento di Radiologia dell'Ospedale di Sesto S. Giovanni (Milano). La matura-

**Table 2** Variances between estimated age (EA) and chronological age (CA) shown by the Greulich and Pyle (G & P) method

	Estimated age			Gender		Total
	Underestimation	EA=CA	Overestimation	Male	Female	
Percentage	46%	17%	37%			
Mean variance	0.88		0.94	0.819	0.701	0.755
Maximum variance	3.34		3.5	3.5	1.96	3.5
Minimum variance	0.06		0.18	0	0	0
SD	0.835		0.678	0.995	0.522	0.522

SD, standard deviation

**Tabella 2** Differenze fra età stimata (EA) e cronologica (CA) mostrate dal metodo Greulich e Pyle

	Età stimata			Genere		Totale
	Sottostima	EA=CA	Sovrastima	Maschi	Femmine	
Percentuale	46%	17%	37%			
Differenza media	0,88		0,94	0,819	0,701	0,755
Differenza massima	3,34		3,5	3,5	1,96	3,5
Differenza minima	0,06		0,18	0	0	0
DS	0,835		0,678	0,995	0,522	0,522

DS, deviazione standard

using the Mincer method. The variances between estimated and chronological age were counted, then the mean variance and maximum and minimum variances for males and females were evaluated for each method.

## Results

The Greulich and Pyle method (Table 2) showed that age was overall more frequently underestimated (in 46% of cases) than overestimated (in 37%); the agreement of estimated age (EA) and chronological age (CA) within 1 year was observed in 17% of cases. Agreement between EA and CA was found more often in males (28%) than in females (7%). The mean variance between EA and CA was 0.755 years  $\pm$  0.522 standard deviation (SD); in males 0.819 years  $\pm$  0.995 SD and in females 0.701  $\pm$  0.522 SD. Maximum variance EA-CA was 3.5 years and the minimum was 0 years.

The Demirjian method (Table 3) clearly distinguished all persons >16 years by dental maturity. The age was more frequently overestimated (61%) than underestimated (39%). Mean variance between EA and CA was 0.824 years  $\pm$  0.76 SD; in males 0.861 years  $\pm$  0.765 SD and in females 0.79  $\pm$  0.753 SD. Maximum variance EA-CA amounted to 3.26 years and the minimum to 0.01 years.

All subjects >23 years of age were correctly assessed by the Mincer method. Variance from CA was in mean 2.95 years  $\pm$  2.496 SD. Age was underestimated and overestimated with the same frequency (48–52%).

zione scheletrica di mano e polso è stata valutata in 54 soggetti (25 maschi, 29 femmine) di età compresa fra i 7 ed i 19 anni, tramite confronto con atlante di Greulich e Pyle. Il metodo Demirjian è stato applicato su 140 OPT (67 maschi, 73 femmine, di età compresa fra i 4 ed i 15,5 anni). Trentuno soggetti hanno raggiunto il punteggio massimo, e sono stati sottoposti ad ulteriore esame tramite metodo di Mincer. Le differenze fra età stimata ed età cronologica sono state calcolate per ogni metodo, così come la differenza media, massima e minima per i maschi e le femmine.

## Risultati

L'utilizzo dell'atlante di Greulich e Pyle ha mostrato più frequentemente una sottostima dell'età (46%) che una sovrastima (37%) (Tabella 2); la corrispondenza dell'età stimata con l'età cronologica (entro l'anno) fu osservata nel 17% dei casi, e fu osservata più frequentemente nei maschi (28%) che nelle femmine (7%). La differenza media fra età stimata ed età cronologica è stata di 0,755 anni  $\pm$  0,522 deviazione standard (DS), nei maschi di 0,819 anni  $\pm$  0,995 DS e nelle femmine di 0,701  $\pm$  0,522 DS; la differenza massima fra età stimata ed età cronologica fu 3,5 anni, la differenza minima di 0 anni.

Il metodo Demirjian fu in grado di diagnosticare correttamente tutti i soggetti di età superiore ai 16 anni in base al grado maturazione dentaria (Tabella 3). L'età fu più

**Table 3** Variances between estimated age (EA) and chronological age (CA) shown by Demirjian method

	Estimated age		Gender		Total
	Underestimation	Overestimation	Male	Female	
Percentage	39%	61%			
Mean variance	0.58	0.984	0.861	0.79	0.824
Maximum variance	2.93	3.26	3.09	3.26	3.26
Minimum variance	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
SD	0.548	0.833	0.765	0.753	0.76

SD, standard deviation

**Tabella 3** Differenze fra età stimata (EA) e cronologica (CA) mostrate dal metodo Demirjian

	Età stimata		Genere		Totale
	Sottostima	Sovrastima	Maschi	Femmine	
Percentuale	39%	61%			
Differenza media	0,58	0,984	0,861	0,79	0,824
Differenza massima	2,93	3,26	3,09	3,26	3,26
Differenza minima	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
DS	0,548	0,833	0,765	0,753	0,76

DS, deviazione standard

**Table 4** Comparison of methods

	Method		
	Greulich and Pyle	Demirjian	Mincer
n	54	109	23
Mean variance	0.755	0.824	2.95
Maximum variance	3.5	3.26	9.18
Minimum variance	0	0.01	0.22
SD	0.522	0.76	2.496

SD, standard deviation

**Tabella 4** Confronto fra i diversi metodi: Greulich e Pyle, Demirjian e Mincer

	Metodo		
	Greulich e Pyle	Demirjian	Mincer
n	54	109	23
Differenza media	0,755	0,824	2,95
Differenza massima	3,5	3,26	9,18
Differenza minima	0	0,01	0,22
DS	0,522	0,76	2,496

DS, deviazione standard

Finally, the performance of all three methods was compared (Table 4). The lowest mean variance from CA was obtained by the Greulich and Pyle method (0.755 year $\pm$ 0.522 SD), followed by the Demirjian method with

frequentemente sovrastimata (61%) che sottostimata (39%). La differenza media fra età stimata ed età cronologica fu di 0,824 anni $\pm$ 0,76 DS, nei maschi 0,861 anni $\pm$ 0,765 DS e nelle femmine 0,79 anni $\pm$ 0,753 DS, la differenza massima fu di 3,26 anni e la minima di 0,01 anni.

Tutti i soggetti di età superiore ai 23 anni furono correttamente diagnosticati dal metodo Mincer; la differenza rispetto all'età cronologica fu in media di 2,95 anni $\pm$ 2,496 DS. L'età fu sottostimata e sovrastimata con la stessa frequenza (rispettivamente nel 48% e 52%).

Infine i tre metodi sono stati confrontati fra loro (Tabella 4). La differenza media più bassa rispetto all'età cronologica fu ottenuta dall'applicazione dell'atlante di Greulich e Pyle (0,755 anni $\pm$ 0,522 DS), seguito dal metodo Demirjian con una differenza media di 0,824 anni $\pm$ 0,76 DS. Il metodo Mincer ha mostrato la differenza media più elevata (2,95 anni $\pm$ 2,496 DS).

## Discussione

Negli ultimi anni gli studi sulle metodologie di stima dell'età si sono concentrate in particolar modo sulla variabilità etnica. Nel caso di stima dell'età su viventi privi di documenti identificativi validi e di un'indicazione anagrafica precisa, e qualora non sia noto con precisione il gruppo etnico di appartenenza, come nei casi di cadaveri sconosciuti, la stima dell'età costituisce un importante elemento per la ricostruzione del profilo biologico, e spesso risulta di notevole rilevanza radiologica specialmente nel caso di

mean variance 0.824 years $\pm$ 0.76 SD. The Mincer method showed the highest mean variance (2.95 years $\pm$ 2.496 SD).

## Discussion

In recent years, the debate concerning age assessment has focused on ethnic variability. In the case of living individuals with no valid documents and with uncertain age and area of provenance, as in cases of unknown deceased or of the living with no identification documents, age estimation is important and frequently of radiological relevance, particularly for juveniles and young adults. The increase of immigration and consequent development of mixed ethnic populations has made it necessary to consider ethnic variation in this type of assessment. In this scenario, the literature needs to provide not only indications concerning the applicability of single methods to different populations but also to verify whether the results from the same methods are dependent on the ethnic factor. This study was performed to verify whether the standards of Greulich and Pyle, Demirjian and Mincer methods in their original version are applicable to young adults when their ethnic origin is unknown, in comparison with data from studies performed on populations of known origin.

The first information derives from comparison of the three methods: the Greulich and Pyle Atlas proved to be the most accurate, as confirmed by the literature [55, 56], followed by Demirjian and then Mincer. The Greulich and Pyle Atlas seems to be less dependent than other methods on the racial factor. This does not mean that the method is completely free from ethnic variability. For example, the literature has shown that the Greulich and Pyle Atlas is less reliable in black females, whereas the error range is more limited in white females and black males [8, 10]. The study substantially confirms the indications provided by the literature: the atlas is more prone to yield the best results in female populations, as reported by several authors [10, 57]. In 17% of cases, estimated and chronological ages were concordant within 1 year, which shows the fairly good reliability of the atlas as a preliminary method in age assessment, regardless of ethnic origin, in comparison with dental methods. This result may be explained by the limited number of X-ray images included in the atlas, whereas the Demirjian method, based on the sum of seven different scores, has a wider range of possible results. Nevertheless, this is a preliminary indication concerning the higher reliability of the Greulich and Pyle Atlas in comparison with dental methods.

The Demirjian method showed a very similar error range to data provided by the literature in different geographical contexts. The general trend is that it overestimates many individuals. The same phenomenon was observed on the Saudi [23], Hungarian [27], northeastern Brazilian [26],

*subadulti e giovani adulti. L'incremento dell'immigrazione ed il conseguente sviluppo di una società multietnica ha reso necessario un approfondimento del fattore etnico nell'ambito del processo di stima dell'età. In tale scenario risulta di notevole importanza ottenere informazioni sull'applicabilità dei singoli metodi su diverse popolazioni, e verificare se i risultati derivanti dagli stessi metodi dipendano dalla variabilità etnica. Lo studio attuale è stato effettuato allo scopo di verificare se i metodi Greulich e Pyle, Demirjian e Mincer nella loro versione originale sono applicabili ai giovani adulti nel caso in cui l'origine etnica degli stessi sia sconosciuta.*

*La prima informazione ottenuta deriva dal confronto dei tre metodi: l'atlante di Greulich e Pyle è risultato il più affidabile, come peraltro confermato dalla letteratura [55, 56], seguito dal metodo Demirjian e Mincer. L'atlante di Greulich e Pyle sembra essere meno influenzato rispetto agli altri metodi dalla variabilità etnica, anche se ciò non significa che ne sia completamente indipendente. Per esempio, la letteratura ha mostrato che l'atlante di Greulich e Pyle è meno affidabile nel caso di femmine negroidi, mentre l'errore medio è più limitato nel caso di femmine caucasoidi e maschi negroidi [8, 10]. Lo studio attuale ha sostanzialmente confermato le indicazioni fornite dalla letteratura: l'atlante tende a fornire i risultati migliori nella popolazione femminile, come confermato da diversi autori [10, 57]. Nel 17% dei casi l'età stimata corrispondeva all'età cronologica con un errore inferiore all'anno; lo studio ha evidenziato una buona affidabilità dell'atlante di Greulich e Pyle come metodo preliminare di stima dell'età indipendentemente dal fattore etnico, in paragone ai metodi dentari; tale risultato potrebbe essere spiegato dal limitato numero di immagini radiografiche incluse nell'atlante, mentre il metodo Demirjian, basato sulla somma di sette differenti punteggi, ha una più ampia gamma di possibili risultati: nondimeno, i risultati emersi da questo studio sono ancora preliminari, e richiedono una conferma su una popolazione più ampia.*

*Il metodo Demirjian ha mostrato un margine di errore sovrapponibile con le informazioni fornite dalla letteratura sull'applicazione del metodo nei diversi contesti geografici, che evidenzia una generale tendenza alla sovrastima. Lo stesso fenomeno è stato osservato infatti nel caso dell'applicazione del metodo su popolazioni saudite [23], ungheresi [27], nord-est brasiliane [26], norvegesi [28], finlandesi [29], polacche [30], cinesi [55], olandesi [25], iraniane [31], australiane [19] e brasiliane [20]. I risultati del presente articolo sembrano confermare che il metodo quantitativo sviluppato da Demirjian è lievemente influenzato dalla variabilità etnica, come mostrato da diversi autori (Tabella 5) [39, 40]. Un'altra informazione emersa nel corso dello studio riguarda l'elevata affidabilità del metodo nella diagnosi dei soggetti di età superiore*

**Table 5** Comparison of results of the Demirjian method with data provided by the literature on different populations

	Population	Males	Females
This study	Unknown ethnic group	0.861	0.79
Farah et al. [19]	Australian	0.02-1.47	0.08-1.38
Eid et al. [20]	Brazilian	0.681	0.616
Liversidge et al. [21]	British	0.73	0.43
Liversidge et al. [21]	Bangladeshi	0.73	0.57
McKenna et al. [17]	Australian	0.31-0.65	0.5-1.06
Rózyło-Kalinowska et al. [31]	Polish	0.89	1.03
Tunc et al. [22]	Turkish	0.36-1.43	0.36-1.44
Qudeimat et al. [33]	Kuwaiti	0.71	0.69
Al-Emran [23]	Saudi	0.3	0.4

**Tabella 5** Confronto dei risultati prodotti dal metodo Demirjian con le osservazioni effettuate in letteratura su diverse popolazioni

	Popolazioni	Maschi	Femmine
Studio attuale	Gruppo etnico sconosciuto	0,861	0,79
Farah et al. [19]	Australia	0,02–1,47	0,08–1,38
Eid et al. [20]	Brasile	0,681	0,616
Liversidge et al. [21]	Inghilterra	0,73	0,43
Liversidge et al. [21]	Bangladesh	0,73	0,57
McKenna et al. [17]	Australia	0,31–0,65	0,5–1,06
Rozylo-Kalinowska et al. [30]	Polonia	0,89	1,03
Tunc et al. [22]	Turchia	0,36–1,43	0,36–1,44
Qudeimat et al. [33]	Kuwait	0,71	0,69
Al-Emran [23]	Arabia Saudita	0,3	0,4

Norwegian [28], Finnish [29], Polish [30], Western Chinese [55], Dutch [25], Iranian [31], Australian [19] and Brazilian [20] children. Differences shown by different sources seem to confirm the quantitative method developed by Demirjian is influenced slightly by ethnic variation, as stated by different authors [39, 40] (Table 5). Another finding provided by the study concerns the success of the Demirjian method in recognising subjects >16 years, which were all correctly assessed with the highest maturation score. The Demirjian method can be therefore considered as a good screening method, regardless of ethnic origin, in distinguishing subjects >16 years, who will then be examined by age estimation methods tested on the late adolescent population, such as the Mincer method.

The Mincer method was able to assess with reasonably good success all subjects >23 years. Nevertheless, this procedure should follow an initial age assessment based on skeletal maturation performed by the Greulich and Pyle method in order to reduce the number of false positive results (subjects wrongly assessed as being >16 and 23 years).

Concerning the Mincer method, the mean variance was distinctively higher than in the Demirjian and Greulich and Pyle methods. Similar variances were found by Solari and Abramovitch [51] in Hispanics and by Blakeship et al. [42] in American blacks and whites.

Our study therefore confirmed data from the literature

ai 16 anni, che sono stati tutti correttamente valutati con il punteggio massimo di maturazione dentaria; il metodo Demirjian può essere pertanto considerato come un buon metodo di screening indipendentemente dal fattore etnico per distinguere i soggetti di età superiore di 16 anni, che poi saranno ulteriormente esaminati da metodi di stima testati su soggetti tardo-adolescenti e giovani adulti, come il metodo Mincer.

Il metodo di Mincer è stato in grado di diagnosticare con sufficiente precisione tutti i soggetti di età superiore ai 23 anni. Nondimeno, tale metodo dovrebbe essere applicato dopo una prima stima dell'età basata sul grado di maturazione scheletrica tramite l'utilizzo dell'atlante di Greulich e Pyle, allo scopo di ridurre il numero di falsi positivi (soggetti erroneamente valutati sopra i 16 ed i 23 anni).

Per quanto riguarda il metodo di Mincer, la differenza media rispetto all'età cronologica fu più elevata rispetto al metodo Demirjian ed all'utilizzo dell'atlante di Greulich e Pyle. Differenze paragonabili sono state evidenziate anche da Solari e Abramovitch [51] nella popolazione ispanica e negli afroamericani e bianchi americani da Blakeship et al. [42].

Lo studio ha pertanto confermato i dati riportati dalla letteratura, e ha mostrato che i tre principali metodi di stima dell'età sono ancora difficilmente utilizzabili qualora le informazioni relative all'appartenenza etnica



and shows that the three main methods for age estimation are still roughly useful for age assessment when racial information is not available. In addition, results from the single methods pointed out the high precision in defining subjects >16 years for Demirjian and >23 years for Mincer. This information, if confirmed by further studies on wider populations, will assist in defining a common procedure for age estimation based on the potential of the single methods in order to reduce the estimated age range, even in cases of blind age assessment where individualisation is difficult to achieve. Even if it remains true that the smallest error will be achieved when using population-specific adaptations to methods, “blind” use of such radiological methods, regardless of the results, may be acceptable, as long as the larger error is taken into consideration with respect to population-specific approaches.

*del soggetto non siano disponibili; inoltre, i risultati forniti dai singoli metodi evidenziarono un'elevata precisione nella diagnosi dei soggetti di età superiore ai 16 anni per il metodo Demirjian, e sopra i 23 anni per il metodo Mincer; tale informazione, se confermata da ulteriori studi eseguiti su popolazioni più ampie, potrebbe fornire un aiuto nella definizione di una procedura standardizzata per la stima dell'età, basata sulla potenzialità di ogni singolo metodo per ridurre l'intervallo di stima dell'età, anche nei casi in cui la stima dell'età sia cieca delle indicazioni sull'etnia di appartenenza, ove l'aderenza del risultato finale al singolo individuo è difficilmente realizzabile. Anche se rimane scontato che il minor margine di errore viene raggiunto utilizzando applicando i fattori di correzione specifici per le singole popolazioni etniche, un utilizzo “cieco” dei metodi radiologici di stima può essere accettabile.*

**Conflict of interest** None

## References/Bibliografia

- Rosing FW, Graw M, Marrè B et al (2007) Recommendations for the forensic diagnosis of sex and age from skeletons. *Homo* 58:75–89
- Schmeling A, Grundmann C, Fuhrmann A et al (2008) Criteria for age estimation in living individuals. *Int J Legal Med* 122:457–460
- Cunha E, Baccino E, Martrille L et al (2009) The problem of aging human remains and living individuals: a review. *Forensic Sci Int* 15:1–13
- Cattaneo C, Porta D, De Angelis D et al (2010) Unidentified bodies and human remains: an Italian glimpse through a European problem. *Forensic Sci Int* 195:167e1–167e6
- Greulich WW, Pyle SI (1959) *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*. Stanford University Press, Stanford, UK
- Büken B, Safak AA, Yazici B et al (2007) Is the assessment of bone age by the Greulich-Pyle method reliable at forensic age estimation for Turkish children? *Forensic Sci Int* 20:146–153
- Mora S, Boechat MI, Pietka E et al (2001) Skeletal age determinations in children of European and African descent: applicability of the Greulich and Pyle standards. *Pediatr Res* 50:624–628
- Ontell FK, Ivanovic M, Ablin DS et al (1996) Bone age in children of diverse ethnicity. *AJR Am J Roentgenol* 167:1395–1398
- Zhang A, Sayre JW, Vachon L et al (2009) Racial differences in growth patterns of children assessed on the basis of bone age. *Radiology* 250:228–235
- Loder RT, Estle DT, Morrison K et al (1993) Applicability of the Greulich and Pyle skeletal age standards to black and white children of today. *Am J Dis Child* 147:1329–1333
- Bull RK, Edwards PD, Kemp PM et al (1999) Bone age assessment: a large scale comparison of the Greulich and Pyle, and Tanner and Whitehouse (TW2) methods. *Arch Dis Child* 81:172–173
- Gilli G (1996) The assessment of skeletal maturation. *Horm Res* 45(Suppl):49–52
- King DG, Steventon DM, O'Sullivan MP et al (1994) Reproducibility of bone ages when performed by radiology registrars: an audit of Tanner and Whitehouse II versus Greulich and Pyle methods. *Br J Radiol* 67:848–851
- Zerin JM, Hernandez RJ (1991) Approach to skeletal maturation. *Hand Clin* 7:53–62
- Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM (1973) A new system of dental age assessment. *Hum Biol* 45:211–227
- Davis PJ, Hägg U (1994) The accuracy and precision of the “Demirjian system” when used for age determination in Chinese children. *Swed Dent J* 18:113–116
- McKenna CJ, James H, Taylor JA et al (2002) Tooth development standards for South Australia. *Aust Dent J* 47:223–227
- Shi GF, Lie RJ, Tao J et al (2009) Application of Demirjian's method for chronological age estimation in teenagers of Shanghai Han population. *Fa Yi Xue Za Zhi* 25:168–171
- Farah CS, Booth DR, Knott SC (1999) Dental maturity of children in Perth Western Australia and its application in forensic age estimation. *J Clin Forensic Med* 6:14–18
- Eid RM, Simi R, Friggi MN et al (2002) Assessment of dental maturity of Brazilian children aged 6 to 14 years using Demirjian's method. *Int J Paediatr Dent* 12:423–428
- Liversidge HM, Speechly T, Hector MP (1999) Dental maturation in British children: are Demirjian's standards applicable? *Int J Paed Dent* 9:263–269
- Tunc ES, Koyuturk AE (2008) Dental age assessment using Demirjian's method on northern Turkish children. *Forensic Sci Int* 175:23–26
- Al-Emran S (2008) Dental age assessment of 85 to 17 year-old Saudi children using Demirjian's method. *J Contemp Dent Pract* 1:64–71
- Chen JW, Guo J, Zhou J et al (2010) Assessment of dental maturity of western Chinese children using Demirjian's method. *Forensic Sci Int* 15:1–4

25. Leurs IH, Wattel E, Aartman IH et al (2005) Dental age in Dutch children. *Eur J Orthod* 27:309–314
26. Maia MC, Martins MD, Germano FA et al (2010) Demirjian's system for estimating the dental age of northeastern Brazilian children. *Forensic Sci Int* 177:e1–e4
27. Nyárády Z, Mörnstad H, Olasz L et al (2005) Age estimation of children in south-western Hungary using the modified Demirjian method. *Fogorv Sz* 98:193–198
28. Nykänen R, Espeland L, Kvaal SI et al (1998) Validity of the Demirjian method for dental age estimation when applied to Norwegian children. *Acta Odontol Scand* 56:238–244
29. Nyström M, Haataja J, Kataja M et al (1986) Dental maturity in Finnish children estimated from the development of seven permanent mandibular teeth. *Acta Odontol Scand* 44:193–198
30. Rózyło-Kalinowska I, Kiworkowa-Raczkowska E, Kalinowski P (2008) Dental age in Central Poland. *Forensic Sci Int* 30:207–316
31. Bagherpour A, Imanimoghaddam M, Bagherpour MR et al (2010) Dental age assessment among Iranian children aged 6–13 years using the Demirjian method. *Forensic Sci Int* 15:1–4
32. Mani SA, Naing L, John J et al (2008) Comparison of two methods of dental age estimation in 7–15-year-old Malays. *Int J Paediatr Dent* 18:380–388
33. Qudeimat MA, Behbehani F (2009) Dental age assessment for Kuwaiti children using Demirjian's method. *Ann Hum Biol* 36:695–704
34. Tao J, Wang Y, Liu RJ et al (2007) Accuracy of age estimation from orthopantomograph using Demirjian's method. *Fa Yi Xue Za Zhi* 23:258–260
35. Flores AP, Sanhueza MA, Barboza P et al (2010) Study of Chilean children's dental maturation. *J Forensic Sci* 55:735–737
36. Lee SE, Lee SH, Lee JY et al (2008) Age estimation of Korean children based on dental maturity. *Forensic Sci Int* 178:125–131
37. Shi GF, Liu RJ, Fan LH et al (2008) Age estimation by dental radiological imaging. *Fa Yi Xue Za Zhi* 24:448–452
38. Willems G, Van Olmen A, Spiessens B et al (2001) Dental age estimation in Belgian children: Demirjian's technique revisited. *J Forensic Sci* 46:893–895
39. Liversidge HM, Speechly T (2001) Growth of permanent mandibular teeth of British children aged 4 to 9 years. *Ann Hum Biol* 28:256–262
40. Liversidge HM, Chaillet N, Mörnstad H et al (2006) Timing of Demirjian's tooth formation stages. *Ann Hum Biol* 33:454–470
41. Mincer HH, Harris EF, Berryman HE (1993) The ABFO study of third molar development and its use as an estimator of chronological age. *J Forensic Sci* 38:379–390
42. Blakenship JA, Mincer HH, Anderson KM et al (2007) Third molar development in the estimation of chronologic age in american blacks as compared with whites. *J Forensic Sci* 52:428–433
43. Bai Y, Mao J, Zhu S et al (2008) Third-molar development in relation to chronologic age in young adults of central China. *J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci* 28:487–490
44. De Salvia A, Calzetta C, Orrico M et al (2004) Third mandibular molar radiological development as an indicator of chronological age in a European population. *Forensic Sci Int* 146(Suppl):S9–S12
45. Lee SH, Lee JY, Park HK et al (2009) Development of third molars in Korean juveniles and adolescents. *Forensic Sci Int* 188:107–111
46. Martin-de las Heras S, García-Fortea P, Ortega A et al (2008) Third molar development according to chronological age in populations from Spanish and Magrebian origin. *Forensic Sci Int* 15:47–53
47. Meinl A, Tangl S, Huber C et al (2007) The chronology of third molar mineralization in the Austrian population—a contribution to forensic age estimation. *Forensic Sci Int* 4:161–167
48. Orhan K, Ozer L, Orhan AI et al (2007) Radiographic evaluation of third molar development in relation to chronological age among Turkish children and youth. *Forensic Sci Int* 5:46–51
49. Prieto JL, Barbería E, Ortega R et al (2005) Evaluation of chronological age based on third molar development in the Spanish population. *Int J Legal Med* 119:349–354
50. Sisman Y, Uysal T, Yagmur F et al (2007) Third-molar development in relation to chronologic age in Turkish children and young adults. *Angle Orthod* 77:1040–1045
51. Solari AC, Abramovitch K (2002) The accuracy and precision of third molar development as an indicator of chronological age in Hispanics. *J Forensic Sci* 47:531–535
52. Zeng DL, Wu ZL, Cui MY (2010) Chronological age estimation of third molar mineralization of Han in southern China. *Int J Legal Med* 124:119–123
53. Kasper KA, Austin D, Kvanli AH et al (2009) Reliability of third molar development for age estimation in a Texas Hispanic population: a comparison study. *J Forensic Sci* 54:651–657
54. Knell B, Ruhstaller P, Prieels F et al (2009) Dental age diagnostics by means of radiographical evaluation of the growth stages of lower wisdom teeth. *Int J Legal Med* 123:465–469
55. Garamendi PM, Landa MI, Ballesteros J, Solano MA (2005) Reliability of the methods applied to assess age minority in living subjects around 18 years old. A survey on a Moroccan origin population. *Forensic Sci Int* 154:3–32
56. Kullman L (1995) Accuracy of two dental and one skeletal age estimation method in Swedish adolescents. *Forensic Sci Int* 75:225–236
57. Chen ST, Jee FC, Mohamed TB (1990) Bone age of Malaysian children aged 12–28 months. *J Singapore Paediatr Soc* 32:97–101