

UNIVERSITÉ DE LILLE
FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG
Année : 2021

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Élargissement de la protubérance occipitale externe chez l'adulte
jeune : étude comparative scanographique entre 2011 et 2019**

Présentée et soutenue publiquement le 22 Janvier à 16h00
au Pôle Formation
par **Alexandre JAOUEN**

JURY

Présidente :

Madame le Professeur Anne COTTEN

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Xavier DEMONDION

Monsieur le Docteur Benoît BERTRAND

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Thibaut JACQUES

AVERTISSEMENT

La faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans
les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

TABLE DES MATIERES

Résumé	5
Introduction	7
1. Le crâne, une pièce essentielle du squelette façonnée par l'évolution	7
1.1. Le crâne : définition	7
1.1.1. Définition généraliste	7
1.1.2. Définition craniométrique	7
1.2. Les évolutions du crâne	8
1.2.1. De la Préhistoire à l'Histoire : des remaniements observés sur des temps longs	8
1.2.2. Des transformations du crâne depuis l'époque moderne	10
1.2.3. Des évolutions observées chez des individus contemporains	10
1.3. Principaux facteurs de l'évolution du crâne	11
1.3.1. Facteurs généraux	11
1.3.2. Facteurs environnementaux et sélection naturelle	12
1.3.3. Brassage et dérive génétique	12
1.3.4. Évolution de la programmation génétique de l'ontogénèse	13
1.3.5. Plasticité du crâne face à des contraintes mécaniques	13
1.3.5.1. Action de contraintes biomécaniques sur le développement, la croissance, les remaniements osseux	14
1.3.5.1.1. Contraintes mécaniques apportées par des dispositifs artificiels	14
1.3.5.1.2. Contraintes biomécaniques liées au mouvement et à la posture	14
1.3.5.2. Des évolutions permises par des structures histologiques et un processus d'ossification particuliers	15
1.3.5.2.1. Les fontanelles	15
1.3.1.2.2. Ossification tardive des os du crâne	16
1.3.5.2.3. Les enthèses	16
2. Un hypothétique élargissement de la protubérance occipitale externe chez les adultes jeunes	17
2.1. La protubérance occipitale externe, un relief crânien d'intérêt dans de nombreuses disciplines	17
2.2. Une évolution récente de la protubérance occipitale externe ?	20

2.2.1. Une augmentation de la fréquence des protubérances occipitales externes suspectée en Australie	20
2.2.2. Une posture inadéquate liée à l'utilisation de technologies portables mise en cause	21
2.2.3. Des conséquences possibles sur la santé des jeunes	22
2.2.4. Forte résonance médiatique	22
2.2.5. Limites de l'étude	23
2.2.5.1. Biais de sélection des participants	23
2.2.5.2. Utilisation d'une méthode radiographique plutôt qu'une méthode scannographique	24
2.2.5.3. Des affirmations plus spéculatives que réellement démontrées	24
2.3. Vérification sur un échantillon de patients français	24
Article scientifique	25
Abstract	27
Introduction	28
Methods	30
1. Population	30
2. EOP measurements	30
3. Ancient skulls analysis	32
4. Use of smartphones	32
5. Ethics	33
6. Statistical analysis	33
Results	34
1. Population	34
2. EOP type and volume in the 2011 and 2019 CT datasets	35
3. EOP measurement in ancient skulls	37
4. Usage of smartphones	40
Discussion	41
Conclusion	45
Bibliographie	46
Exploitation Scientifique du Travail	51

Résumé

L'élargissement de la protubérance occipitale externe (POE) a été récemment décrit comme étant en augmentation chez les jeunes adultes. Ce phénomène pourrait être expliqué par de nouvelles habitudes posturales, liées notamment à l'usage des smartphones. Cette étude vient remettre en cause cette supposition, en analysant finement les changements en prévalence et en taille des POE élargies chez les *millenials*, depuis que ces derniers utilisent massivement ces terminaux mobiles (2011-2019). Pour réaliser cette étude, des scanners cérébraux anonymisés de patients âgés de 18 à 30 ans en 2011 (n = 205) ou 2019 (n=240) ont été relus pour déterminer le type de POE et en mesurer le volume lorsque cette dernière apparaissait élargie. Des analyses tomodensitométriques ont par ailleurs été réalisées sur deux squelettes, appartenant respectivement à un homme du XVIème siècle et à une momie d'une jeune femme égyptienne.

Alors que le pourcentage de *millenials* détenant un smartphone est passé de 35% à 98% entre 2011 et 2019, aucune différence significative n'a été remarquée concernant la prévalence d'une POE élargie entre 2011 (92/405, 44,9%) et 2019 (106/240, 44,22%) (P=0,92). Aucune évolution majeure n'a été constatée ni dans la distribution des volumes de POE élargies (P=0,14) ni dans leur type (P=0,92) durant cette période. Par rapport aux volumes relevés en 2019, la momie égyptienne avait une POE élargie correspondant au 85^{ème} percentile pour les femmes jeunes, tandis que le crâne du XVIème siècle avait une POE élargie correspondant au 73^{ème} percentile pour les hommes jeunes.

La prévalence et le volume des POE élargies des *millenials* étant demeurés stables entre 2011 et 2019, l'hypothèse d'un effet rapide d'un facteur

environnemental nouveau sur les POE apparaît par conséquent peu probable. L'élargissement de la protubérance occipitale externe était par ailleurs déjà présent sur des squelettes de jeunes individus lors des siècles derniers, avec des volumes dans les fourchettes supérieures actuelles.

Introduction

1. Le crâne, une pièce essentielle du squelette façonnée par l'évolution

1.1. Le crâne : définition

1.1.1. Définition généraliste

Le crâne, défini par l'Académie nationale de Médecine comme « *l'ensemble des pièces osseuses qui constituent le squelette de la tête, à l'exception de la mandibule et de l'os hyoïde* », comprend une partie cérébrale (aussi appelée neurocrâne, dont les parties antérieures, postérieures, supérieures et latérales forment la voûte crânienne) ainsi qu'une partie faciale (également nommée splanchnocrâne). Au sommet du squelette axial, son rôle est double : il sert à la fois de soutien et de protection aux parties molles, et de support à l'action des muscles. En effet, formé des os occipital, frontal, ethmoïde, sphénoïde, temporaux et pariétaux, le crâne cérébral, dont la surface interne (aussi appelée endocrâne) est en contact avec l'encéphale, enveloppe ce dernier ainsi que les organes auditifs et constitue, à sa surface externe (aussi appelée exocrâne), le point d'appui de nombreux muscles. De même, le crâne facial, constitué des treize pièces osseuses qui entourent les cavités orbitaires, nasales et buccales (dont les os maxillaires, les os lacrymaux, les palatins, le vomer, les os propres du nez et les cornets inférieurs), abritent les organes des sens visuel, olfactif et gustatif et permettent à divers muscles de s'insérer.

1.1.2. Définition craniométrique

L'essor de l'anatomie et de l'anthropologie, au XIX^e siècle, s'est accompagné de tentatives de définitions qu'on pourrait qualifier de craniométriques de cette partie

supérieure du squelette. C'est en tout cas ce dont témoignent des travaux tels que ceux de Gaussin (1), qui, face à une variabilité interindividuelle importante des dimensions du crâne, cherchaient dans la crâniométrie l'incarnation du « caractère que l'on peut tirer pour une race ».

Quoi qu'il en soit, la capacité crânienne des représentants de l'espèce *Homo sapiens* semble comprise entre 1100 et 2000 cm³ (1350 cm³ en moyenne) (2).

1.2. Les évolutions du crâne

Cependant, le crâne n'a pas toujours présenté un tel volume – qui aurait varié de 350 à 510 cm³ chez l'Australopithèque à 1500 à 1750 cm³ chez *Homo neantertalensis*, en passant par 650 à 680 cm³ chez *Homo habilis* ou 850 à 1100 cm³ chez *Homo erectus* (3). Il a en effet été le siège de nombreuses modifications au cours de l'évolution de la lignée humaine, modifications très étudiées par les anthropologues depuis plus d'un siècle.

1.2.1. De la Préhistoire à l'Histoire : des remaniements observés sur des temps longs

Si ces modifications évolutives sont largement étudiées, les anthropologues semblent s'être en particulier concentrés sur les remaniements du crâne survenus au cours de temps longs tels que des ères, des millénaires. Ceci probablement afin de mieux comprendre le passage de l'être humain primitif à l'*Homo sapiens* moderne. Mais quelles que soient les motivations de ces chercheurs, leurs travaux, à l'instar de ceux de Jantz et al. (4), ont montré que le passage des grands singes à l'Australopithèque est marqué par un retrait de la face, une rotation postéro-inférieure du crâne ainsi qu'une expansion de la voûte crânienne. De même, l'émergence du genre *Homo* à partir du genre *Australopithecus* se serait également accompagnée

d'un retrait de la face, mais aussi d'une élongation postérieure du crâne, et surtout d'une inclinaison du *foramen magnum* (Figure 1).

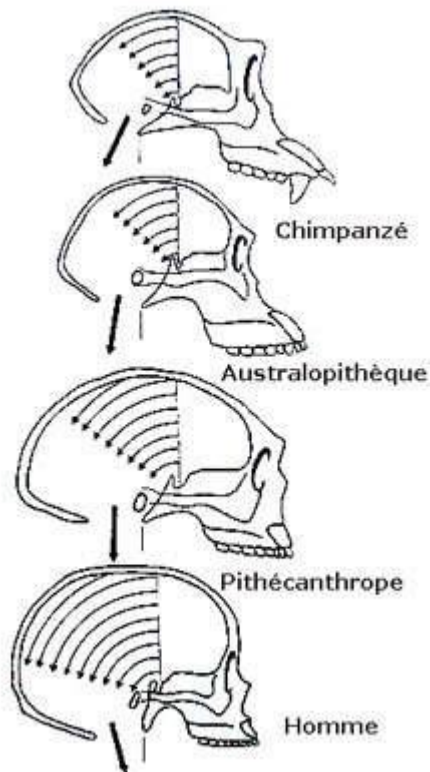


Figure 1

Au sein du genre *Homo*, le passage d'*Homo erectus* à *Homo neandertalensis* serait aussi signé par une expansion postérieure du crâne une inclinaison du *foramen magnum*, quand celui d'*Homo erectus* à *Homo sapiens* serait incarné non seulement par un retrait, mais aussi par une verticalisation de la face, ainsi que par une expansion du crâne cette fois dans toutes les directions ou encore par la disparition du bourrelet sus-orbitaire (2).

Toutefois, les anthropologues tendraient depuis quelques années à s'intéresser aux transformations du crâne de l'*Homo sapiens* lui-même (5). C'est par exemple le cas d'Henneberg qui, à la fin des années 1980, a mis en évidence une

réduction de la capacité du crâne humain de 10% chez l'homme et de 17% chez la femme entre l'ère Mésolithique et le XIX^e siècle (6).

1.2.2. Des transformations du crâne depuis l'époque moderne

Si certains comparent le crâne des premiers *Homo sapiens* au crâne de représentants plus récents de la même espèce, d'autres se détournent de la Préhistoire et s'intéressent de plus en plus à des modifications de cette partie du squelette humain survenues ces derniers siècles, au cours de l'Histoire. Ainsi, des anthropologues ont comparé des crânes modernes non seulement à des crânes médiévaux (4) mais aussi à des crânes d'individus ayant vécu au XIX^e siècle (7–11). Aussi, depuis les débuts de l'ère industrielle, la taille et surtout la forme de la calvaria auraient changé dans le sens d'une augmentation importante de sa hauteur, de façon moins prononcée de sa longueur et d'une légère réduction de sa largeur. Le splanchnocrâne serait lui aussi devenu à la fois plus étroit et plus haut (7).

1.2.3. Des évolutions observées chez des individus contemporains

Dans le même esprit, il semble qu'un axe de recherche centré sur des évolutions crâniennes plus récentes encore, survenues au cours de l'époque contemporaine, commence à émerger. A ce titre, citons un travail de Buretić-Tomljanović et al. mené sur des sujets croates, d'après lequel en 13 ans, une réduction significative de la largeur – voire, chez la femme, du diamètre – du crâne ainsi qu'une augmentation de la hauteur de la face auraient été mesurés, ce qui correspond à un processus de dolichocéphalisation (Figure 2) (12).

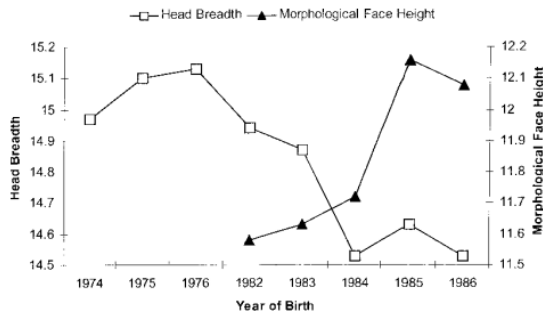


Fig. 1. Secular change in head breadth and morphological face height in males.

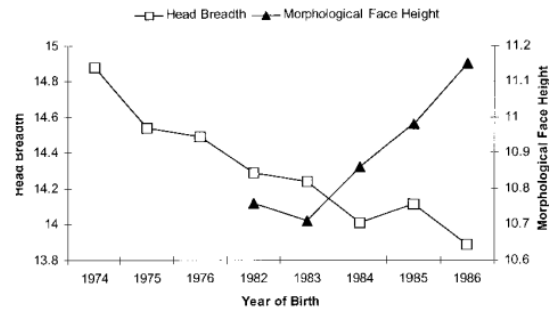


Fig. 2. Secular change in head breadth and morphological face height in females.

Figure 2 : Tiré du travail de Buretić-Tomljanović et al.

1.3. Principaux facteurs de l'évolution du crâne

Si les modifications du crâne survenues au cours de l'évolution de la lignée humaine et de *Homo sapiens* moderne apparaissent donc abondamment décrites, les travaux visant à identifier les forces susceptibles d'avoir façonné le crâne et plus généralement le corps humain au cours de la Préhistoire et de l'Histoire sont eux aussi nombreux. D'après toutes ces études, il semble bien établi que les transformations morphologiques survenues au cours de l'évolution résulteraient généralement de diverses contraintes d'ordre tantôt biomécanique, tantôt génétiques ou liées à des pressions de sélection appliquées par l'environnement. Toutefois, le poids relatif de chacun de ces facteurs sur le sens de l'évolution reste débattu (13–17).

1.3.1. Facteurs généraux

Quelle que soit l'importance relative de chacune de ces forces évolutives sur les remaniements du crâne au cours de l'évolution, des facteurs généraux souvent mis en cause dans l'évolution du corps humain sont avancés par certains auteurs pour expliquer les transformations du crâne au cours du temps. Aussi, parce que « *la corrélation des variables de la forme du crâne avec la stature suggère fortement que le crâne répond à des forces similaires* » (4) et parce que la stature, c'est-à-dire la

taille du squelette, semble avoir augmenté par exemple depuis le début de l'ère industrielle et probablement sous l'action de modifications importantes du régime alimentaire (4), des facteurs nutritionnels pourraient également intervenir dans l'évolution du crâne. Telle est du moins l'explication par les auteurs d'une expérimentation menée chez le rat à la veille des années 2000. D'après eux, un régime pauvre en protéine modifierait en effet moins la taille finale des individus que le cours de leur croissance, engendrant, au niveau de la tête, un raccourcissement et un élargissement du neurocrâne (18).

1.3.2. Facteurs environnementaux et sélection naturelle

Par ailleurs, l'évolution et la pression de sélection dépendant généralement du milieu dans lequel se déroule cette évolution, des facteurs environnementaux interviennent aussi certainement dans les processus de transformation du crâne.

A ce titre, des auteurs tels que Fogel (19) et Floud et al. (20) avancent notamment que le contrôle « sans précédent » acquis par l'Homme sur son milieu pourrait expliquer au moins en partie les plus récentes évolutions du crâne. En particulier, la réduction de la mortalité infantile – liée à un meilleur accès aux nutriments et à d'importants progrès thérapeutiques – communément associée à une augmentation de la taille des individus (les petits n'étant plus sélectionnés par manque de ressources) pourrait être impliquée (5).

1.3.3. Brassage et dérive génétique

De plus, toute évolution en milieu ouvert s'accompagnant de brassage et de dérive génétiques, les remaniements crâniens dépendent sans doute également de ce genre de phénomènes.

Aussi, des anthropologues tels que Boas en 1911, puis Relethford 2004 avancent que l'augmentation de la fréquence des mariages inter-ethniques dans un contexte d'accélération des échanges pourrait influencer l'évolution du crâne (21). Schreider en 1973, reprenant les travaux de Hulse de 1957, avait documenté l'impact de la consanguinité sur la morphologie du squelette humain, a fortiori du crâne (22).

1.3.4. Évolution de la programmation génétique de l'ontogénèse

L'évolution de la programmation génétique de l'ontogénèse – par dérive ou brassage génétique ou encore par sélection naturelle – semble intéresser particulièrement les chercheurs dans la mesure où elle assurerait un rôle important dans les variations de la taille des individus comme de la forme et des dimensions de leur crâne au cours du temps.

La chronologie et la durée de l'ontogénèse de la tête ont en effet été identifiées comme à l'origine de nombreuses différences entre le crâne ou le cerveau humain d'une part, et le crâne ou le cerveau des grands singes d'autre part (5). De même, de nouvelles modifications du programme ontogénique du crâne pourraient, en fonction de la phase ontogénique touchée, provoquer des transformations importantes du développement et de la morphologie de la tête (23).

1.3.5. Plasticité du crâne face à des contraintes mécaniques

Enfin, s'ajoutant aux facteurs sus cités, les contraintes biomécaniques exercées sur cette partie supérieure du squelette comptent très certainement parmi celles-ci.

1.3.5.1. Action de contraintes biomécaniques sur le développement, la croissance, les remaniements osseux

1.3.5.1.1. Contraintes mécaniques apportées par des dispositifs artificiels

L'effet de forces mécaniques sur la morphologie du crâne a en effet été observé très tôt dans l'histoire de l'anthropologie. En particulier, l'observation de déformations de la tête dans certaines régions du monde a permis de comprendre dès le XIX^e siècle l'impact de l'application artificielle de contraintes mécaniques par des dispositifs tels que des bandeaux ou des coiffes sur le développement et la croissance du crâne. Lunier a saisi dès 1886 que des déformations du crâne fréquemment observées à cette époque dans le département des Deux-Sèvres étaient associées à une pratique sociale, à une mode consistant à « entourer la tête des nouveau-nés d'un bandeau très serré » rapidement remplacé par une « calotte en carton » ensuite adjointe d'un fil de fer, c'est-à-dire à soumettre le crâne des enfants en croissance à une « constriction permanente » (24).

Évoquons par ailleurs l'observation par divers anthropologues de crânes issus de civilisations pré et protohistoriques (25) au sein desquelles de telles coiffes destinées à guider la croissance de la tête vers de formes singulières semblent également avoir été développées.

1.3.5.1.2. Contraintes biomécaniques liées au mouvement et à la posture

Cependant, si ces contraintes mécaniques appliquées artificiellement sur le crâne, par leur résultat parfois spectaculaire, ont permis de remarquer puis

comprendre l'impact de forces d'ordre physiques sur la morphologie de la tête, des pressions biomécaniques liées au mouvement et à la posture ont sans doute davantage compté dans l'évolution de cette partie supérieure du squelette.

C'est d'abord évidemment le cas de la station érigée, de la bipédie dont, on l'a dit, l'acquisition semble s'être accompagnée d'une inclinaison vers l'avant du *foramen magnum*, vers son orientation actuelle – à 15° en moyenne de l'horizontale vestibulaire (26) –, d'une rétraction de la face, d'une flexion de la base du crâne et d'une expansion de la calvaria (27).

Mais certains mouvements de la tête ou du visage réalisés fréquemment pourraient également avoir façonné le crâne humain. C'est en tout cas ce qu'ont suggéré, chez l'animal (le rat), les résultats d'une expérience singulière conduite dans les années 1980 : d'après cette expérimentation, une mastication peu intense d'aliments mous influencerait l'évolution de la morphologie de la face et du crâne dans le sens d'une croissance plus en avant du splanchnocrâne, d'une augmentation de la hauteur de la face, d'une diminution en taille des condyles occipitaux, et de l'adoption par le crâne d'une forme orthocrâniale (28).

1.3.5.2. Des évolutions permises par des structures histologiques et un processus d'ossification particuliers

Toutes ces contraintes mécaniques ne peuvent modifier la morphologie du crâne que parce que l'histologie de ce dernier lui confère une certaine plasticité.

1.3.5.2.1. Les fontanelles

D'abord, les fontanelles, définies d'après Kamina comme des régions membraneuses non ossifiées à la jonction des présutures (29) qui « *permettent le développement du crâne au rythme de l'encéphale* » et autorisent la tête à se

déformer pendant l'accouchement, contribuent au moins dans l'enfance à la plasticité du crâne. En effet, la fontanelle postérieure (lambdoïde) ne se ferme que vers 2 mois de vie, les fontanelles sphénoïdales qu'entre 3 et 6 mois, les fontanelles mastoïdiennes vers 18 mois, la fontanelle antérieure (bregma) de 18 à 36 mois.

1.3.1.2.2. Ossification tardive des os du crâne

Pendant la période post natale, le crâne va croître sous l'influence du cerveau pour le neurocrâne, suivant le développement des muscles de la dentition, des muscles masticateurs, de la langue pour le viscéro-crâne.

Le premier, croissant grâce aux fontanelles à la fois en largeur et en hauteur au niveau de la voûte. Cette expansion est rapide la première année puis plus lente jusqu'à la 7^{ème} année. Il est le siège d'une ossification membraneuse. Il croît en longueur au niveau de la base du crâne jusqu'à la 18^{ème} ou 20^{ème} année.

Le second, associe la croissance de la face en majorité la 1^{ère} année, puis de la mandibule en parallèle de celle de la base du crâne, est plus longue, s'étendant jusqu'à 25 ans, permettant de passer d'une hauteur de face discrètement inférieure à celle du crâne à la naissance, à l'inverse à l'âge adulte (29).

1.3.5.2.3. Les enthèses

Si les fontanelles confèrent ainsi au crâne une plasticité importante mais relativement limitée dans le temps, un autre type de structures présentes sur le crâne, les enthèses, s'adaptent aux contraintes mécaniques. Cependant, plus superficiellement mais tout au long de la vie.

Les enthèses sont *des « zones d'ancrage dans l'os des tendons, ligaments et capsules articulaires »* selon l'académie de médecine. Elles existent sous deux

formes, les enthèses fibreuses et les enthèses fibrocartilagineuses. Elles permettent une homogénéisation des contraintes mécaniques qui s'appliquent sur le tissu osseux. Elles peuvent être le siège de pathologies inflammatoires comme dans les spondylarthropathies mais également subir des remodelages suite à des contraintes subies par les traumatismes répétés des muscles ou tendons. Le remaniement tissulaire va aboutir au développement d'enthésophytes, résultat d'un processus d'ossification métaplasique. Ce processus n'est pas toujours le fait d'une modification pathologique mais parfois le témoin d'une adaptation aux contraintes permettant comme par exemple pour le tendon d'Achille d'augmenter la surface d'insertion d'un tendon en réponse à l'augmentation des forces (30–33).

2. Un hypothétique élargissement de la protubérance occipitale externe chez les adultes jeunes

À la surface du crâne, un relief particulier de la région occipitale, la protubérance occipitale externe, attire régulièrement l'attention des anatomistes, des anthropologues, mais aussi des spécialistes de la médecine légale et des cliniciens.

2.1. La protubérance occipitale externe, un relief crânien d'intérêt dans de nombreuses disciplines

La protubérance occipitale externe, définie par l'Académie nationale de Médecine comme une « saillie médiane et rugueuse de la face exocrânienne de l'écaille de l'occipital d'où partent la crête occipitale externe et les deux lignes nuchales supérieures » située « au même niveau que la protubérance occipitale interne », a en effet rapidement été identifiée par les anatomistes comme un point d'intérêt en craniologie. Ainsi, Broca présentait-il déjà, au XIX^e siècle, ce relief osseux – ou plutôt cette enthèse, la protubérance occipitale externe donnant, d'après

l'Académie de Médecine, « insertion au ligament nuchal et aux faisceaux les plus médiaux des deux muscles trapèzes » –, comme un repère craniométrique indispensable à l'étude du crâne, permettant notamment de trouver la ligne de démarcation de la région de la nuque (34).

De même, les anthropologues semblent avoir intégré la protubérance occipitale externe comme un élément important de l'étude des transformations du crâne, et en particulier de la région occipitale, au cours de l'évolution. Citons à titre d'exemple des auteurs tels que Delattre et Fénart, qui suggèrent que l'inversion du sens de rotation ontogénique de ce genre de points selon des axes vestibulaires au cours de l'évolution, constitue un marqueur de « l'avènement de la station érigée », c'est-à-dire de l'émergence de la bipédie. En effet, la croissance de l'extrémité céphalique s'effectuerait, chez les représentants bipèdes de la lignée humaine, dans le sens horaire, inverse de celle de l'extrémité céphalique des gorilles ou chimpanzés, non bipèdes, de telle façon qu'une rotation nulle – hypothétique – pourrait signer le début de l'hominisation (4).

A noter que la protubérance occipitale externe n'a toutefois pas les mêmes dimensions, voire la même forme, chez tous les sujets. Cette variabilité interindividuelle avait déjà été notée par Broca : « *souvent, en effet, très souvent même, il n'y a absolument aucune trace de la protubérance occipitale externe* », qui peut au contraire apparaître « volumineuse et recourbée vers le bas, ce qui est assez commun », remarquait-il en 1875 (34) afin d'introduire, comme repère crâniologique plus précis que la protubérance occipitale, l'inion – aujourd'hui défini comme le « point anthropométrique situé à l'union des lignes nuchales supérieures droite et gauche sur la ligne médiane, à la base de la protubérance occipitale externe ».

Ainsi, si Broca avait déjà distingué six sous-types anatomiques de protubérances occipitales externes, on n'en retient aujourd'hui, depuis les travaux de Gülekon et Turgut plus que trois : les protubérances lisses (type 1), les protubérances en forme de crête (type 2) et les protubérances épineuses (type 3) (Figure 3) (35).

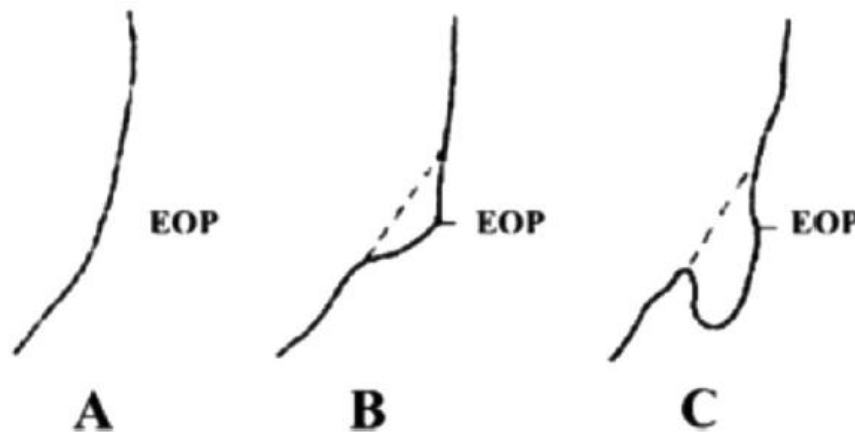


Figure 3 : Classification modifiée de la POE d'après Gülekon et Turgut. (A) Type 1, lisse. (B) Type 2, en forme de crête. (C) Type 3, de forme épineuse (35).

Cette classification est bien connue en médecine légale, où la variabilité interindividuelle de la forme de la protubérance occipitale externe compte parmi les critères de définition du sexe des squelettes. Une étude radiographique réalisée dans les années 2000 a d'ailleurs montré que les protubérances occipitales les moins saillantes (type 1) sont plus fréquentes chez les femmes (plus de 85% d'entre elles présenteraient ce type de relief) que chez les hommes (une protubérance occipitale externes de type 1 est présente chez moins de 20% d'entre eux), et qu'au contraire, la prévalence des protubérances occipitales externes les plus proéminentes (type 3) est bien plus élevée chez les hommes (plus de 60% des hommes présentent ce type de relief) que chez les femmes (moins de 5% d'entre elles ont une protubérance de forme épineuse) (35).

2.2. Une évolution récente de la protubérance occipitale externe ?

Si la protubérance occipitale externe semble donc considérée par les anthropologues comme un point anatomique intéressant pour étudier l'évolution du crâne humain, une possible évolution récente de ce relief crânien particulier a été identifiée à partir de 2016 et largement relayée par les médias.

2.2.1. Une augmentation de la fréquence des protubérances occipitales externes suspectée en Australie

Une étude rétrospective australienne parue en 2016 suggère en effet que la prévalence des protubérances occipitales externes élargies pourrait être particulièrement élevée chez les adolescents et les jeunes adultes. Ce travail rapporte que parmi 218 radiographies cervicales de profil d'individus de 18 à 30 ans pris en charge à la clinique de chiropractie du premier auteur, 41% comporteraient une protubérance occipitale externe élargie, de plus de 10 mm – voire plus de 20 mm pour 10% de la population (36,37).

Une seconde étude réalisée deux ans plus tard par les mêmes auteurs ajoute que cette prévalence élevée de la protubérance occipitale externe élargie chez les jeunes ne concernerait pas les individus plus âgés. D'après cette nouvelle recherche, parmi les 1 200 patients de la clinique de chiropraxie âgés de 18 à 86 ans recrutés pour ces nouvelles investigations, la probabilité de présenter une protubérance occipitale externe élargie diminuerait légèrement avec l'âge – d'un facteur supérieur à 1 (1,03) à chaque décennie (24).

2.2.2. Une posture inadéquate liée à l'utilisation de technologies portables mise en cause

Afin d'expliquer ce phénomène d'augmentation de la prévalence des protubérances occipitales externes élargies – ou du moins, ce que les auteurs de ces études interprètent comme un phénomène d'augmentation de la prévalence des protubérances occipitales externes élargies – chez les plus jeunes membres de la population étudiée, les auteurs évoquent l'implication de facteurs biomécaniques (37).

Ainsi pointent-ils en particulier, au décours de la discussion de leur second travail, le rôle potentiel de la protraction de la tête : d'après eux, l'application continue d'une telle contrainte mécanique qualifiée « d'aberrante » sur l'enthèse que constitue la protubérance occipitale externe pourrait provoquer un élargissement de cette dernière. Autrement dit, l'adoption par les adolescents et les jeunes adultes d'une « mauvaise posture » conduisant à maintenir la tête penchée, ou plutôt avancée, pourrait conduire à une augmentation de la fréquence de la formation de protubérances occipitales externes élargies au sein de cette population.

À ce stade de l'interprétation des résultats, la question de la cause de l'adoption massive de ce genre de postures par les jeunes se pose. Sans exposer plus de données, les auteurs associent alors directement cette protraction de la tête à « l'émergence d'une utilisation intensive de nouvelles technologies portables, telles que les smartphones et les tablettes » chez les jeunes (37).

2.2.3. Des conséquences possibles sur la santé des jeunes

Quelle que soit l'origine de cette possible augmentation de la fréquence des protubérances occipitales externes élargies chez les jeunes, les auteurs affirment s'inquiéter « de la future santé musculo-squelettique de cette population » – qui pourrait selon eux être préservée par « des actions de prévention par l'éducation à l'amélioration de la posture. En outre, aux yeux des auteurs, il apparaît « probable » que l'augmentation de la taille de la protubérance occipitale externe, asymptomatique chez les jeunes, puisse, avec le temps, causer ou exacerber des douleurs liées à l'âge (36).

Des cliniciens ont déjà décrit des douleurs associées à de larges protubérances occipitales externes. Les protubérances épineuses, de type 3, pourraient en effet constituer une fréquente source d'inconfort à faire connaître des neurochirurgiens, des médecins du sport et des radiologues impliqués tantôt dans le diagnostic, tantôt dans le traitement (exérèse chirurgicale) de ce genre d'affections (22). Si certains patients rapporteraient une gêne esthétique (39), d'autres connaîtraient en effet des douleurs de la tête ou des cervicalgies – au repos, debout ou surtout allongé, ou bien provoquées par le mouvement – liées à un étirement du périoste par la croissance de la protubérance (40,41).

2.2.4. Forte résonance médiatique

Dans un contexte marqué à la fois par le succès des nouvelles technologies portables et par une certaine méfiance à leur égard ainsi que par un engouement des médias et de leurs lecteurs, auditeurs ou téléspectateurs pour les contenus relayant notamment des évolutions récentes, voire futures, de l'être humain, les résultats de ces deux travaux ont été largement relayés ces dernières années. Citons

surtout un article de la *BBC* (42) au sujet des évolutions récentes du squelette, mais aussi d'autres textes parus dans des revues anglo-saxonnes telles que le *Guardian* (43), *Time* (44) ou *Forbes* (45) ainsi que dans des médias français généralistes comme le quotidien régional Ouest France (46) ou le site web de la chaîne d'information en continu LCI (47).

2.2.5. Limites de l'étude

Cependant, comme le soulignent certains de ces articles de presse, les deux études australiennes comportent plusieurs limites qui ne permettent de recevoir leurs conclusions qu'avec la plus grande prudence. Et ce d'autant plus que depuis Broca, divers auteurs ont continué d'affirmer que les larges épines occipitales semblent relativement peu fréquentes. A ce titre, une étude réalisée en 2017, soit pendant la même période que les travaux australiens, estime la prévalence des protubérances occipitales de type 3 à environ 10% de la population générale (48).

2.2.5.1. Biais de sélection des participants

Outre son caractère rétrospectif, la méthode adoptée par les auteurs australiens comporte une limite liée à la sélection des participants. En effet, ces derniers ont été recrutés parmi les patients ayant bénéficié d'une radiographie d'une clinique de chiropractie constituée de patients souffrant de douleurs musculo-squelettiques. Or les protubérances occipitales externes élargies pouvant être associées à ce type de douleurs, il semble donc possible que les patients pris en charge à la clinique présentent des protubérances occipitales externes plus larges que la population générale.

2.2.5.2. Utilisation d'une méthode radiographique plutôt qu'une méthode scanographique

Par ailleurs, la mesure de la protubérance occipitale externe des participants a été réalisée sur des radiographies de crâne alors que la méthode de référence pour l'étude des anomalies du crâne est plutôt scanographique (49). En effet, il semble difficile de penser que l'on puisse déduire la taille globale d'une structure non géométrique, par la mesure de celle-ci via une seule longueur dans un seul plan, et qu'une mesure de sa surface ou de son volume serait plus pertinente.

2.2.5.3. Des affirmations plus spéculatives que réellement démontrées

Enfin, la mise en cause par les auteurs d'un mécanisme biomécanique, et même d'une mauvaise posture liée à l'utilisation de technologies portables, ne repose sur aucune donnée de la science, et apparaît dès lors purement spéculative. Si bien qu'une correction de l'article a été publiée dans la revue *Scientific Reports* (38).

2.3. Vérification sur un échantillon de patients français

Dans ce contexte, afin de vérifier si un phénomène d'augmentation de la prévalence des protubérances occipitales externes élargies était bien à l'œuvre dans la population française et en particulier parmi les adolescents et les jeunes adultes issus de la génération des *millenials*, il apparaissait intéressant de reproduire et d'approfondir, au CHU de Lille, l'expérience australienne selon une méthode toutefois plus appropriée, en trois dimensions, en mesurant le volume de la protubérance occipitale externe sur un scanner chez des patients n'ayant pas

consulté aux urgences pour des douleurs cervicales, afin de s'affranchir des principales limites de l'étude australienne.

Les résultats de ce travail ont été publiés en anglais dans la revue *Scientific Reports*, et sont rapportés ci-après. La conclusion de l'article était la suivante : la prévalence et le volume des POE élargies des *millenials* sont restés stables entre 2011 et 2019, ceci parallèlement à une augmentation majeure de l'utilisation des smartphones au sein de cette population. L'hypothèse d'un effet rapide d'un facteur environnemental nouveau sur les POE est par conséquent peu probable. L'élargissement de la protubérance occipitale externe était par ailleurs déjà présent sur des squelettes de jeunes individus lors des siècles derniers, avec des volumes dans les fourchettes supérieures actuelles.

Article scientifique

Enlarged External Occipital Protuberance in young French individuals' head CT: stability in prevalence, size and type between 2011 and 2019.

Thibaut Jacques^{1,2}, Alexandre Jaouen^{1,2}, Grégory Kuchcinsk^{2,3}, Sammy Badr¹, Xavier Demondion^{1,2,4} & Anne Cotten^{1,2}.

1 Service d'imagerie musculosquelettique, CHU de Lille.

2 Université de médecine de Lille.

3 Service de neuroradiologie, CHU de Lille.

4 Laboratoire d'anatomie, université de Lille.

Abstract

External Occipital Protuberance (EOP) enlargement has been recently reported to increase in young adults, with a putative link with postural factors such as the use of smartphones. This study aims to analyze finely the changes in prevalence and size of EOP enlargement in millennials, throughout the smartphone era (2011 – 2019). Anonymized head Computerized Tomography (CT) examinations from patients aged 18-30 in 2011 (n = 205) or 2019 (n = 240), were reviewed to assess the type of EOP and to measure its volume in case of enlargement. Additional CT analyses were performed on two ancient skulls, from a XVIth century young male and a young female Egyptian mummy. There was no significant evolution in the prevalence of EOP enlargement between 2011 (92/205, 44.9%) and 2019 (106/240; 44.2%) (P = 0.92). There was no significant evolution either in the distribution of enlarged EOP volumes (P = 0.14) or of EOP types (P = 0.92) between 2011 and 2019. In the meantime, rates of smartphone ownership in millennials rose from 35% to 98%. Compared to 2019 volumes, the Egyptian mummy displayed an EOP enlargement corresponding to the 85th percentile for young women, and the XVIth century skull to the 73rd percentile for young men. In conclusion, on a population scale, prevalence and volume of enlarged EOP in millennials remain stable between 2011 and 2019, which makes the impact of rapidly growing modern environmental factors on EOP changes unlikely. EOP enlargement was also already present in ancient skulls from young individuals, with measurements within today's upper ranges.

Introduction

External Occipital Protuberance (EOP) is a normal anatomical structure located on the posterior surface of the occipital bone, at the level of the superior nuchal line. It is the insertion site of the nuchal ligament (50). There are three types of EOP depending on its shape (34,40): “flat type” (type 1), “crest type” (type 2) and “spine type” (type 3). Previous studies have shown that type 1 was more frequent in women and type 3 more frequent in men (35,36). Type 3 can sometimes manifest as a subcutaneous scalp pseudotumor (51).

Even if the EOP is widely studied in the anthropological literature, medical publications remain rare on this topic (7). EOP enlargement (sometimes referred to as “occipital spur”) is defined as a bony outgrowth of the EOP and is usually considered as an anatomic variant (48). While common and frequently asymptomatic (39), it can be the source of discomfort (39,40,51) and sometimes be painful enough to require surgical excision (36) or rarely fracture after a trauma (52).

Recent studies have reported that the prevalence of EOP enlargement seemed to be rapidly increasing in the young adult population (36,37) with a possible role of mechanical factors (53) such as sustained forward head protraction (37) and raise the question of musculoskeletal disorders related to environmental factors among millennials. The hypothesis of a possible link with smartphone use has been suggested, however without clear link established so far, due to an important number of confounding factors.

Nevertheless, a true modification in enlarged EOP prevalence and size in millennials would suggest a significant evolutionary pressure over a short period of time. Moreover, these previous reports (36,37) were based on the analysis of X-ray

examinations, which is an imperfect method to assess a three-dimensional structure. Finally, no longitudinal data have ever been published on this topic so far. Therefore, further analyses are needed to better understand the potential changes in EOP size over time.

The aim of this study was to compare the prevalence and size of EOP enlargement in 2 populations of young adults, from the present time (2019) and from the beginning of the smartphone era (2011), to evaluate whether or not any change could be observed in this period of time. The secondary objective was to assess the presence of EOP enlargement in ancient skulls from two young individuals (XVIth century France and Ptolemaic Egypt).

Methods

1. Population

This retrospective study was conducted in the Emergency Radiology Department of a single University Hospital (Lille University Hospital, Lille, France). Anonymized head Computerized Tomography (CT) examinations from young patients aged from 18 to 30 years, who were referred to the Division for an acute event between January and June 2011, and between January and June, 2019, were retrospectively analyzed. The anonymization process retained only age, gender and year of examination (2011 or 2019). All examinations from both periods were performed on the same CT device providing 0.6 mm slices (Somatom Definition AS, Siemens Healthcare GmbH).

2. EOP measurements

The anonymized head CT examinations were reviewed retrospectively by two readers: a senior musculoskeletal radiologist and a radiology resident specializing in musculoskeletal imaging. The readers were blinded for the gender and age of patients, as well as for the year of examination. The CT examinations were visualized with SyngoVia software (Siemens Healthcare GmbH), using multiplanar reconstruction with a bone window. The type of EOP was graded in consensus between readers: type 1 (“flat type”), type 2 (“crest type”) or type 3 (“spine type”). Type 2 and type 3 EOP were considered as enlarged, and their volume was then measured manually, in consensus between readers, using the “Freehand Volume of Interest (V.O.I)” tool from SyngoVia. The size was expressed as a volume in cm³ (Fig. [1](#)). Measurement data are provided as Supplementary Information files.

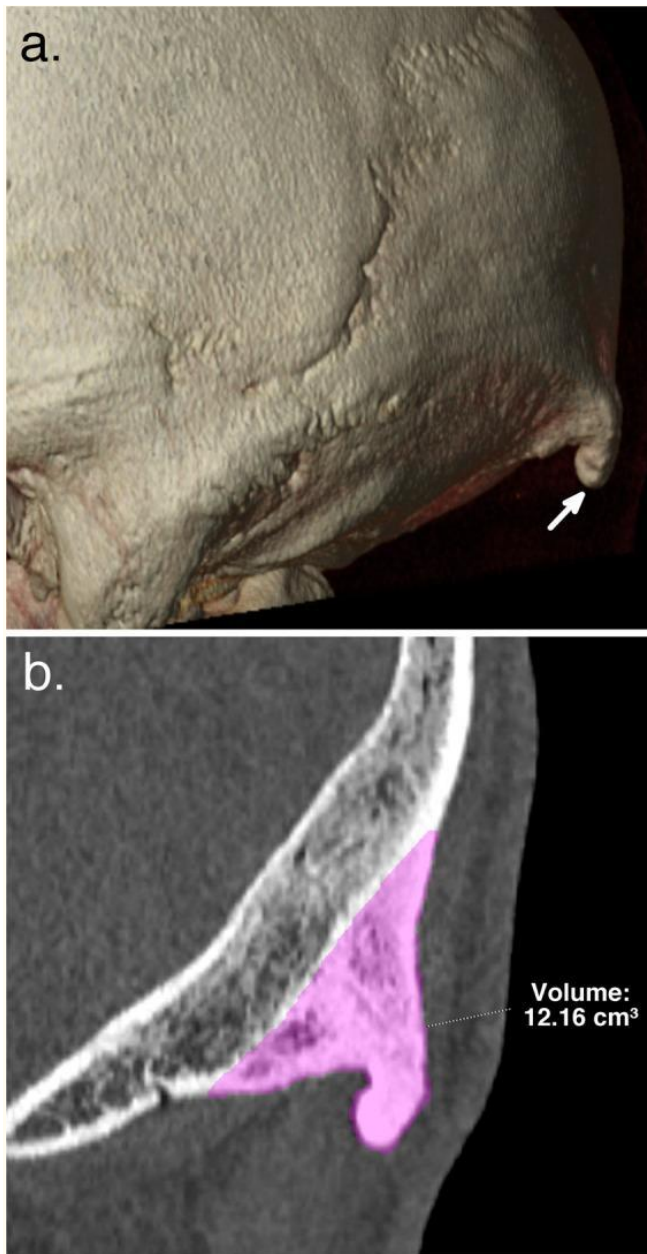


Figure 1

EOP measurement method. Panel a. shows volume rendering (VR) of the skull CT with a type 3 EOP (arrow) in a male patient from the 2019 dataset; Panel b. shows the corresponding measurement technique of the volume of the EOP, using the “Freehand V.O.I.” tool (SyngoVia). This EOP enlargement was the largest among all examinations, with a volume of 12.16 cm³.

3. Ancient skulls analysis

In order to obtain further insights on EOP over a longer period of time, CT analyses were performed on two skulls from young adults of ancient times. The first analysis was performed on an Egyptian mummy (ML4, Natural History Museum, Lille, France) excavated in the early XIXth century from the tombs of Thebes, Egypt, and dated of the Ptolemaic (332 - 30 BC) or the Graeco-Roman (30 BC - 641 AD) periods (54,55). According to previous local works (54,55), this mummy was a female young adult aged 25 +/- 4.9 years old. It underwent a whole body CT, including skull, in our institution for archaeological purposes in June 2014. Images were analyzed retrospectively for the purpose of this study.

The second analysis was performed on a dry skull (Laboratory of Anatomy, Lille University, Lille, France) from a skeleton excavated in 1989 in the vault of a Middle-Ages convent from the Dominican Order established in the XIIIth century (Valenciennes, France). Previous unpublished work on the full skeleton estimated that it belonged to a young male from *circa* XVIth century, aged approximately 30 years old. The skull underwent a dedicated CT for the purpose of this study. The images from both skulls were analyzed exactly as described in the previous section.

4. Use of smartphones

Since this study was performed on anonymized CT examinations and no personal information were available, it was thus impossible to quantify directly the individual use of smartphones for each patient. To obtain indirect information on the evolution of the use of smartphone use in young patients during the time period between the two datasets, we used publicly available official data summarizing the use of these devices, from 2011 to 2019 and by subgroups of age (56).

5. Ethics

All analyses were performed retrospectively on anonymized data, and were compliant to the EU General Data Protection Regulation (GDPR) and the declaration of Helsinki. Our institutional review board approved the data analysis (Department of Numeric Resources, University Hospital of Lille, reference DEC19-279) and waived the requirement for an informed patient consent, given the design of the study (retrospective analysis on anonymized examinations). The authorization for the analysis of the two ancient skulls was provided by their respective right-holders.

6. Statistical analysis

Statistical analyses and graphical plotting were performed using GraphPad Prism software version 8.0.1 for Mac OS X (GraphPad Software). Quantitative variables are expressed as mean \pm standard deviation (SD). Comparisons between quantitative variables were performed using Kolmogorov-Smirnov test. Qualitative variables are expressed as raw numbers, proportions and percentages. Comparisons between qualitative variables were performed using Chi-square test. Statistical significance was set at $P < 0.05$.

Results

1. Population

The dataset was composed of 205 anonymous head CT examinations for the 2011 period, and 240 for the 2019 period. All 445 examinations came from different patients, without visible condition affecting the occipital bone (fracture or osteolysis for example). The 2011 dataset was composed of 87 women (87/205; 42.4%) and 118 men (118/205; 57.6%). The 2019 dataset was composed of 106 women (106/240; 44.2%) and 134 men (134/240; 55.8%). There was no significant difference in the repartition of genders between the two periods ($P = 0.71$). The mean age of patients was 23.9 ± 3.6 years for the 2011 period and 23.4 ± 3.7 years for the 2019 period (Table 1). The birth years ranged from 1980 to 1993 for the 2011 dataset, and from 1988 to 2001 for the 2019 dataset, which corresponds to the usual birth years of individuals referred to as “millennials” (57).

Table 1:

Detail of the study datasets from 2011 and 2019, in terms of gender and age.

Number of patients	2011	2019
	205	240
Women	87 (42.4%)	106 (44.2%)
Men	118 (57.6%)	134 (55.8%)
Mean age \pm SD (years)	23.9 \pm 3.6	23.4 \pm 3.7
Women	23.3 \pm 3.8	23.3 \pm 3.9
Men	24.4 \pm 3.4	23.4 \pm 3.5

2. EOP type and volume in the 2011 and 2019 CT datasets

Regarding the volume of EOP enlargement, there was no significant evolution between the 2011 and 2019 datasets regarding the distribution of EOP measurements values (2.13 \pm 1.36 cm³ versus 2.00 \pm 1.66 cm³ respectively, Kolmogorov-Smirnov D = 0.16; P = 0.14) (Fig. 2).

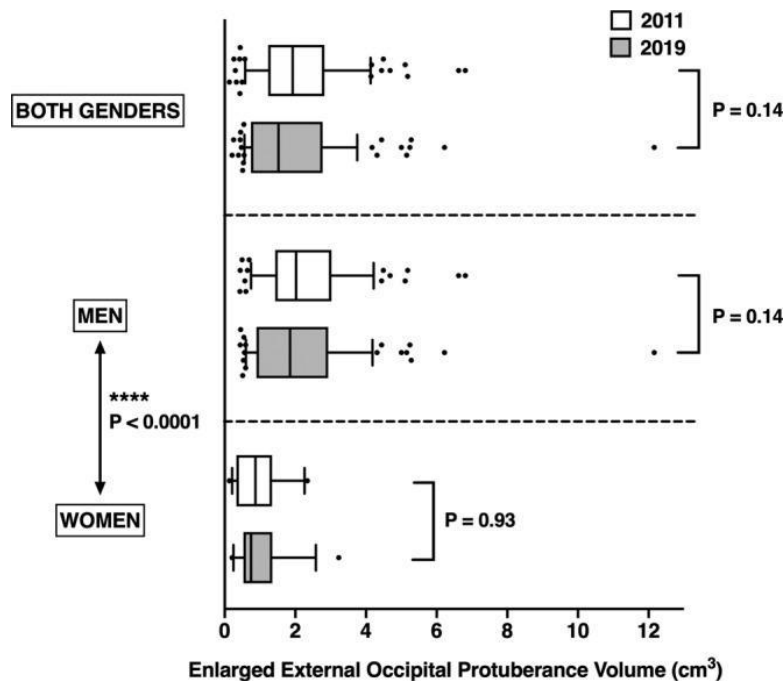


Figure 2

Distribution of EOP volumes in patients with an enlarged EOP, depending on the year and gender (boxplots). Boxes extend from 25th to 75th percentiles; whiskers extend from 10th to 90th percentiles; median value is plotted as a vertical bar. P-values were obtained using Kolmogorov-Smirnov test. Outlying points were included in the analysis.

In men with EOP enlargement, the mean volume was 2.34 \pm 1.35 cm³ in the 2011 dataset versus 2.19 \pm 1.72 cm³ in the 2019 dataset, without significant difference in the distribution of values (Kolmogorov-Smirnov D = 0.18; P = 0.14). In women with EOP enlargement, the mean volume was 1.05 \pm 0.73 cm³ in the 2011 dataset versus 1.05 \pm 0.79 cm³ in the 2019 dataset, without significant difference in

the distribution of values (Kolmogorov-Smirnov $D = 0.19$; $P = 0.93$) (Fig.2). The distribution of values were significantly different between men and women, with men having significantly higher EOP volumes than women ($P < 0.0001$) (Fig.2).

Regarding the prevalence of EOP enlargement, in the 2011 dataset, 92 examinations (92/205, 44.9%) showed an EOP enlargement, being either type 2 (64/205, 31.2%) or type 3 EOP (28/205, 13.7%). In the 2019 dataset, 106 cases (106/240, 44.2%) showed an EOP enlargement, being either type 2 (71/240, 29.6%) or type 3 EOP (35/240, 14.6%). There was thus no significant evolution between the 2011 and 2019 datasets regarding the prevalence of EOP enlargement ($P = 0.92$) (Table 2).

Table 2: Evolution of the repartition of EOP types between 2011 and 2019 datasets, by year and gender.

	2011	2019	P-value (X^2 , df)
All patients	N = 205	N = 240	
Type 1 EOP ("flat type")	55.1% (N = 113)	55.8% (N = 134)	0.92
Type 2 EOP ("crest type")	31.2% (N = 64)	29.6% (N = 71)	(0.17, 2)
Type 3 EOP ("spine type")	13.7% (N = 28)	14.6% (N = 35)	
Women	N = 87	N = 106	0.99 (0.01, 2)
Type 1 EOP	82.8% (N = 72)	83.0% (N = 88)	
Type 2 EOP	10.3% (N = 9)	10.4% (N = 11)	
Type 3 EOP	6.9% (N = 6)	6.6% (N = 7)	
Men	N = 118	N = 134	0.90
Type 1 EOP	34.7% (N = 41)	34.3% (N = 46)	(0.21, 2)
Type 2 EOP	46.6% (N = 55)	44.8% (N = 60)	
Type 3 EOP	18.7% (N = 22)	20.9% (N = 28)	

In the 2011 dataset, EOP enlargement was common in men since it was seen in 77 cases (77/118, 65.3%) whereas it was present in only 15 women (15/87, 17.2%). The results were similar in the 2019 dataset, with EOP enlargement being seen in 88 cases (88/134, 65.7%) for men, versus 18 cases (18/106, 17.0%) for women (Table 2).

When pooling both datasets from 2011 and 2019 regarding EOP shape by gender, 160 women (160/193, 82.9%) displayed a type 1 EOP, 20 women (20/193, 10.4%) a type 2 EOP and 13 women (13/193, 6.7%) a type 3 EOP. These results were significantly different ($p < 0.0001$) from the findings seen in men, with respectively 87 cases (87/252, 34.5%), 115 cases (115/252, 45.7%) and 50 cases (50/252, 19.8%) (Table 3).

Table 3:

Overall repartition of EOP types by gender (pooled 2011 and 2019 datasets).

	Women	Men	P-value (X^2 , df)
	N = 193	N = 252	
Type 1 EOP	82.9% (N = 160)	34.5% (N = 87)	< 0.0001
Type 2 EOP	10.4% (N = 20)	45.7% (N = 115)	(104.2, 2)
Type 3 EOP	6.7% (N = 13)	19.8% (N = 50)	

3. EOP measurement in ancient skulls

The CT of the female Egyptian mummy showed a type 2 EOP enlargement, with a volume of 1.87 cm³ (Fig. 3). This value corresponds to the 85th percentile of the 2019 dataset for young women with EOP enlargement.

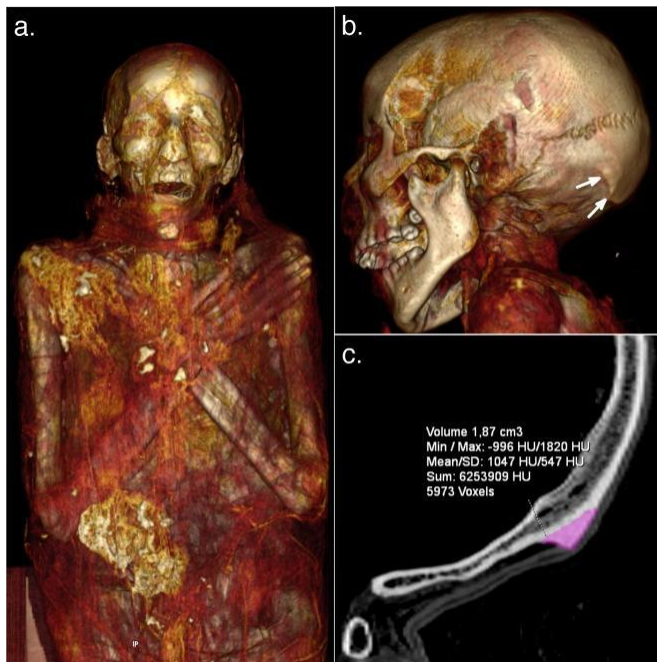


Figure 3

CT analysis of a young female Egyptian mummy. Panel a. shows an anterior frontal Volume Rendering (VR) view of the mummy's head and trunk. Panel b. shows a postero-lateral VR view of the skull with visible enlarged type 2 EOP (arrows). Panel c. shows EOP measurement (1.87 cm³) which corresponds to the 85th percentile of 2019 values for young women with EOP enlargement.

The CT of the XVIth century male skull showed a type 3 EOP enlargement, with a volume of 2.88 cm³ (Fig. 4). This value corresponds to the 73rd percentile of the 2019 dataset for young men with EOP enlargement.

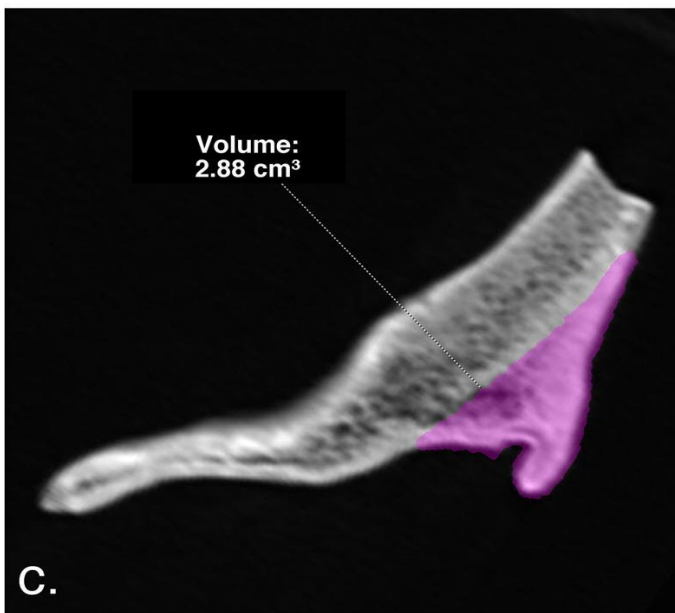


Figure 4

CT analysis of a young male's skull from circa XVIth century. Panel a. shows a lateral photograph of the skull, with visible enlarged type 3 EOP (arrows). Panel b. shows a lateral VR view of the skull with corresponding EOP (arrows). Panel c. shows EOP measurement (2.88 cm³), which corresponds to the 73rd percentile of 2019 values for young men with EOP enlargement.

4. Usage of smartphones

On a national scale (56), the rate of ownership of smartphones in 2011 was estimated to 22% for the 12–17 year-olds, 35% for the 18–24 year-olds and 30% for the 25–39 year-olds. It drastically increased respectively to 86%, 98% and 95% in 2019 (Fig. 5). Though no direct relationship can be established, this major increase contrasts with the stability of the rate and volume of EOP enlargement during the same time period.

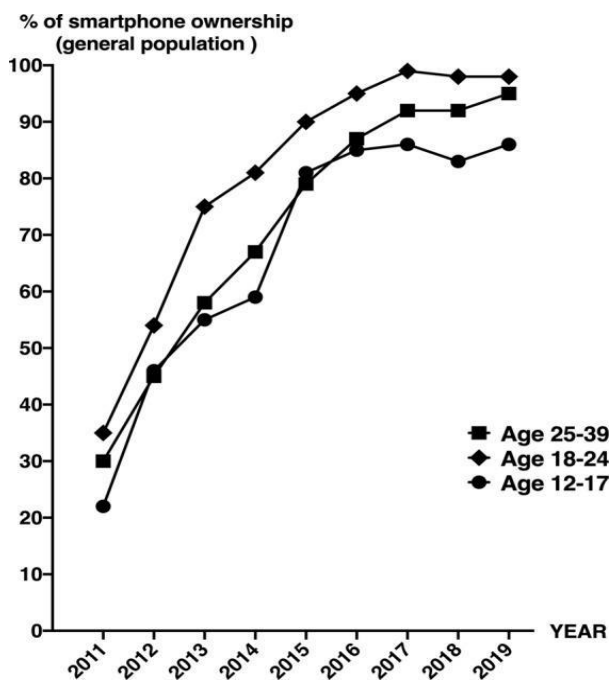


Figure 5

Evolution between 2011 and 2019 of the ownership of smartphones at a national scale (56).

Discussion

The impact of modern life on EOP changes in millennials has been the subject of recent publications (36,37,53). However, these publications relied on data from conventional X-ray examinations and did not provide several time points, to better understand the evolution of EOP measurements over time. Actually, the medical literature regarding EOP size remains poor, and no volumetric data were ever published on this topic so far. Thus, a dedicated scientific study with a more precise evaluation of EOP size and shape, and including data from different times seemed necessary.

On a population scale, our study shows that EOP enlargement is a frequent finding in *millennials*, and was already present at the very beginning of the smartphone era, without significant differences in prevalence or size as compared to today, which is not in favor of a rapidly changing environmental factor during this period.

This study is the first to study EOP using Computerized Tomography (CT). This imaging modality is more sensitive than conventional radiography for the depiction of changes in the bone. This highly accurate assessment might have led to an overestimation on prevalence and size of EOP as compared to radiographic or morphologic studies. However, it is interesting to note that our results are consistent with a previous study based on conventional radiographs (36) that reported an enlarged EOP in 41% of the population (44.2–44.9% in our study), more frequently in men (67.4% *versus* 65.3–65.7% in our study) than in women (20.3% *versus* 17–17.2% in our study). On the other hand, a prevalence of only 10% was reported in one morphologic study that analyzed cadaveric skulls (48). It has also been reported

(58) that male individuals have higher occipital bone thickness around the EOP. The use of imaging techniques could thus be overestimating the prevalence of EOP enlargement compared to morphological studies, partly because it is sometimes difficult to differentiate the deep part of the EOP from a focal enlargement of the occipital bone.

There is no consensus on the definition of an enlarged EOP. Previous studies (36,37,48) relied on only one or two linear measurements to define EOP enlargement. However, this approach does not take the shape of the EOP into account, which can be highly variable between individuals. To overcome this issue, we decided to measure EOP volume instead, because it enabled a more precise and suitable delineation of the EOP.

This study focused on a limited time (8 years) and cannot rule out a more progressive impact of other environmental factors from older decades on EOP size in the general population. However, this study also shows, through two older examples, that EOP enlargement was already present in young individuals from ancient populations. Interestingly, the CT measurement showed in both cases values within today's upper ranges (respectively 85th and 73rd percentiles gender-wise), underlining the fact that if mechanical constraints are to be implied in EOP enlargement, some of them were already faced by our ancestors. This study only shows two of these examples and cannot rule out, however, that the results would have been different on a larger population of ancient skulls and that the evolution of EOP over time follows a slowly progressive path. Precise assessment of the changes in EOP over longer periods of time, with adjustment towards confounding factors that might change neck constraints (e.g. an individual's size, neck musculature, working conditions or physical activities) would be useful.

On an individual scale, it is noticeable that few cases from both 2011 and 2019 datasets were clear outliers (Fig. 2) with some of them displaying an unusually large EOP (Fig. 1). It would be interesting to focus individually on patients with this kind of EOP to look for innate or environmental factors that could have led to this condition. One study (53) reported that inflammatory or genetic factors did not seem to be involved in EOP enlargement, but it relied on a small number of patients. It would be interesting to undertake such a study on a larger scale, especially in symptomatic patients.

We acknowledge several limitations in our study. Firstly, it was a retrospective study performed at a single institution (university hospital). Studies performed in different hospitals with different CT indications or in different countries might show different results. Nevertheless, we believe our methodology favored a comparison between homogenous populations.

Secondly, since the work was performed retrospectively on anonymized CT datasets, it was not possible to assess directly the individual use of smartphones of patients. The data we used were derived from national official data on this topic, and give an overall glimpse of the use of smartphones. However, while interesting, they represent only one environmental parameter, among many potential confounding factors. Though the impact of rapidly growing modern environmental factors - such as smartphones - on EOP changes seems unlikely given the stability of EOP size in the last decade, the design of our study does not allow thorough correlation with risk factors. Thus, further studies with a robust design enabling an adjustment of EOP size with confounding factors are needed to draw more robust conclusions on the impact of environment on EOP changes.

Thirdly, since the datasets were retrospective and anonymized, we could not establish a correlation between the size of the EOP and potential cervical symptoms. However, the datasets were derived from head CT performed in the Emergency Radiology Department of our institution, for which the main imaging indications are related to an acute event (head trauma, acute headache or acute neurological symptom for example), and without *a priori* specific reasons to suffer from cervical symptoms more than the general population. The choice to work on head CT examinations rather than cervical spine CT examinations was driven partly by this reason, because the dataset could have been biased in the latter, with an over-representation of patient with cervical symptoms that could have altered the generalization of our description. Finally, one can argue that 2011 is not far enough to draw conclusions on the evolution of EOP over a longer period of time. This study specifically focuses on *millennials* aged 18-30 and the potential rapidly evolving impact on modern life on this population, since they were the principal age group for whom concerns were raised (37). Going further back in time would have led to the inclusion of patient from previous generation X, who underwent different life events and environmental constraints (57). Moreover, the number of confounding factors resulting in ossification of the entheses (mechanical, inflammatory, metabolic...) increases with age (59). Since our design did not enable a robust adjustment for confounding factors, the addition of older patients could have introduced a significant bias.

Conclusion

On a population scale, prevalence and volume of enlarged EOP (“occipital spur”) in millennials remained stable between 2011 and 2019, although the use of smartphones has risen drastically in the meantime. Interestingly, CT analysis of ancient skulls from young individuals (XVIth century France and Ptolemaic Egypt) showed values within today’s upper ranges (gender-wise) and comforts these findings. These findings suggest that EOP enlargement was already present and frequent at the beginning of the last decade, and probably even long before. This makes the impact of rapidly growing modern environmental factors - such as smartphones - on EOP changes unlikely. However, further studies are needed to fully understand the innate and/or environmental factors that could lead to a major EOP enlargement in certain patients, without forgetting that this finding is very rarely symptomatic.

Bibliographie

1. Gaussin. Relation entre les trois diamètres du crâne. Bull Mém Société Anthropol Paris. 1865;6(1):141- 68.
2. Leigh SR. Cranial capacity evolution in Homo erectus and early Homo sapiens. Am J Phys Anthropol. janv 1992;87(1):1- 13.
3. Le cerveau humain depuis le paléolithique- Hominidés [Internet]. Disponible sur: <https://www.hominides.com/html/dossiers/cerveau.php>
4. Jantz RL, Jantz LM. The Remarkable Change in Euro-American Cranial Shape and Size. Hum Biol. janv 2016;88(1):56- 64.
5. Chaline et al. Quantification de révolution morphologique du crâne des Hominidés et hétérochronies. Comptes Rendus Académie Sci - Ser IIA - Earth Planet Sci. févr 1998;326(4):291- 8.
6. Carl, Henneberg M. Decrease of human skull size in the Holocene. 1988.
7. Jantz RL, Meadows Jantz L. Secular change in craniofacial morphology. Am J Hum Biol Off J Hum Biol Council. mai 2000;12(3):327- 38.
8. Jantz RL, Owsley DW. Variation among early North American Crania. Am J Phys Anthropol. 2001;114(2):146- 55.
9. Wescott DJ, Jantz RL. Assessing Craniofacial Secular Change in American Blacks and Whites Using Geometric Morphometry. In: Slice DE, éditeur. Modern Morphometrics in Physical Anthropology. Boston, MA; 2005. p. 231- 45. (Developments in Primatology: Progress and Prospects).
10. Jonke E, Prossinger H, Bookstein FL, Schaefer K, Bernhard M, Freudenthaler JW. Secular trends in the facial skull from the 19th century to the present, analyzed with geometric morphometrics. Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod. juill 2007;132(1):63- 70.
11. Weisensee KE, Jantz RL. Secular changes in craniofacial morphology of the portuguese using geometric morphometrics. Am J Phys Anthropol. 2011;145(4):548- 59.
12. Buretić-Tomljanović A, Ostojić S, Kapović M. Secular change of craniofacial measures in Croatian younger adults. Am J Hum Biol Off J Hum Biol Council. oct 2006;18(5):668- 75.
13. Smith JM, Burian R, Kauffman S, Alberch P, Campbell J, Goodwin B, et al. Developmental Constraints and Evolution: A Perspective from the Mountain Lake Conference on Development and Evolution. Q Rev Biol. 1 sept 1985;60(3):265- 87.

14. Arnold S. Constraints on phenotypic evolution. *Am Nat.* 1 déc 1992;140 Suppl 1:S85-107.
15. Arthur W. Developmental drive: an important determinant of the direction of phenotypic evolution. *Evol Dev.* 2001;3(4):271- 8.
16. Klingenberg CP. Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches. *Nat Rev Genet.* sept 2010;11(9):623- 35.
17. Chenoweth SF, Rundle HD, Blows MW. The Contribution of Selection and Genetic Constraints to Phenotypic Divergence. *Am Nat.* 1 févr 2010;175(2):186- 96.
18. Miller JP, German RZ. Protein malnutrition affects the growth trajectories of the craniofacial skeleton in rats. *J Nutr.* nov 1999;129(11):2061- 9.
19. Fogel R. Health, Nutrition, and Economic Growth. *Econ Dev Cult Change.* 1 févr 2004;52:643- 58.
20. Floud R, Fogel R, Harris B, Hong S. *The Changing Body: Health, Nutrition, and Human Development in the Western World Since 1700.* The Changing Body: Health, Nutrition, and Human Development in the Western World Since 1700. 2011.
21. Relethford JH. Boas and beyond: Migration and craniometric variation. *Am J Hum Biol.* juill 2004;16(4):379- 86.
22. Schreider E. Consanguinité et variations biologiques chez l'homme. *Population.* 1976;31(2):341- 54.
23. Shea BT. Heterochrony in human evolution: The case for neoteny reconsidered. *Am J Phys Anthropol.* 1989;32(S10):69- 101.
24. Lunier. Sur quelques déformations du crâne. *Bull Mém Société Anthropol Paris.* 1866;1(1):139- 42.
25. Konigsberg LW, Kohn LAP, Cheverud JM. Cranial deformation and nonmetric trait variation. *Am J Phys Anthropol.* janv 1993;90(1):35- 48.
26. Delattre A, Fenart R. Tentative de définition du genre Homo. *Bull Mém Société Anthropol Paris.* 1966;9(4):377- 92.
27. Martínez-Abadías N, Esparza M, Sjøvold T, González-José R, Santos M, Hernández M, et al. Pervasive Genetic Integration Directs the Evolution of Human Skull Shape. *Evolution.* 2012;66(4):1010- 23.
28. Kiliaridis S, Engström C, Thilander B. The relationship between masticatory function and craniofacial morphology. I. A cephalometric longitudinal analysis in the growing rat fed a soft diet. *Eur J Orthod.* nov 1985;7(4):273- 83.
29. Kamina P. *Anatomie clinique.* 4ème édition. Vol. 1. Maloine; 2009.

30. Benjamin M, Toumi H, Ralphs JR, Bydder G, Best TM, Milz S. Where tendons and ligaments meet bone: attachment sites ('entheses') in relation to exercise and/or mechanical load. *J Anat.* avr 2006;208(4):471- 90.
31. Benjamin M, Rufai A, Ralphs JR. The mechanism of formation of bony spurs (enthesophytes) in the achilles tendon. *Arthritis Rheum.* mars 2000;43(3):576- 83.
32. Cheverud JM, Kohn LAP, Konigsberg LW, Leigh SR. Effects of fronto-occipital artificial cranial vault modification on the cranial base and face. *Am J Phys Anthropol.* 1992;88(3):323- 45.
33. Tadros A, Huang B, Pathria M. Muscle-Tendon-Enthesis Unit. *Semin Musculoskelet Radiol.* juill 2018;22(03):263- 74.
34. Broca P. Instructions craniométriques. Notions complémentaires sur l'ostéologie du crâne. Détermination et dénomination nouvelles de certains points de repère. Nomenclature craniologique. *Bull Mém Société Anthropol Paris.* 1875;10(1):337- 67.
35. Gülekon IN, Turgut HB. The external occipital protuberance: can it be used as a criterion in the determination of sex? *J Forensic Sci.* mai 2003;48(3):513- 6.
36. Shahar D, Sayers MGL. A morphological adaptation? The prevalence of enlarged external occipital protuberance in young adults. *J Anat.* 2016;229(2):286- 91.
37. Shahar D, Sayers MGL. Prominent exostosis projecting from the occipital squama more substantial and prevalent in young adult than older age groups. *Sci Rep.* 20 févr 2018;8(1):3354.
38. Shahar D, Sayers MGL. Author Correction: Prominent exostosis projecting from the occipital squama more substantial and prevalent in young adult than older age groups. *Sci Rep.* 18 sept 2019;9(1):13707.
39. Varghese E, Samson RS, Kumbargere SN, Pothen M. Occipital spur: understanding a normal yet symptomatic variant from orthodontic diagnostic lateral cephalogram. *BMJ Case Rep.* 22 mai 2017;2017.
40. Singh R. Bony Tubercle at External Occipital Protuberance and Prominent Ridges: *J Craniofac Surg.* nov 2012;23(6):1873- 4.
41. Marshall RC, Abela C, Eccles S. Painful exostosis of the external occipital protuberance. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg JPRAS.* nov 2015;68(11):e174-176.
42. Gorvett Z. How modern life is transforming the human skeleton [Internet]. [cité 6 déc 2020]. Disponible sur: <https://www.bbc.com/future/article/20190610-how-modern-life-is-transforming-the-human-skeleton>
43. Are young people growing horns because of mobile phones? Not so fast | Gideon Meyerowitz-Katz | Opinion | The Guardian [Internet]. Disponible sur:

<https://www.theguardian.com/commentisfree/2019/jun/21/are-young-people-growing-horns-because-of-mobile-phones-not-so-fast>

44. No, Teens Aren't Growing « Skull Horns » Because of Cellphones | Time [Internet]. [cité 11 nov 2020]. Disponible sur: <https://time.com/5611036/teenagers-skull-horns/>
45. No, Your Kids' Evil Cellphone Won't Give Them Horns [Internet]. Disponible sur: <https://www.forbes.com/sites/kristinakillgrove/2019/06/20/no-your-kids-evil-cell-phone-wont-give-them-horns/>
46. Ouest-France. Des chercheurs observent l'apparition d'une « corne osseuse » à la base du crâne des utilisateurs de smartphones [Internet]. Ouest-France.fr. 2019. Disponible sur: <https://www.ouest-france.fr/sante/des-chercheurs-observent-l-apparition-d-une-corne-chez-des-utilisateurs-de-smartphones-6409969>
47. Accros au smartphone, une « corne » osseuse pourrait pousser au-dessus de votre nuque ! [Internet]. LCI. Disponible sur: <https://www.lci.fr/bien-etre/accros-au-smartphone-une-corne-osseuse-pourrait-pousser-au-dessus-de-votre-nuque-2125040.html>
48. Srivastava M, Asghar A, Srivastava N, Gupta N, Jain A, Verma J. An Anatomic Morphological Study of Occipital Spurs in Human Skulls. *J Craniofac Surg*. 1 déc 2017;29:1.
49. Eslier M, Morello R, Azria E, Dreyfus M. Comparative study between women born in France and migrant women with regard to their mode of delivery. *J Gynecol Obstet Hum Reprod*. 21 nov 2019;101648.
50. Kadri, P. A. S. & Al-Mefy, O. Anatomy of the nuchal ligament and its surgical applications. *Neurosurgery* 61, 301–304; discussion 304 (2007).
51. Gómez Zubiaur, A., Alfageme, F., López-Negrete, E. & Roustán, G. Type 3 External Occipital Protuberance (Spine Type): Ultrasonographic Diagnosis of an Uncommon Cause of Subcutaneous Scalp Pseudotumor in Adolescents. *Actas Dermosifliogr* (2019).
52. Sattur, M., Korson, C., Henderson, F. & Kalhorn, S. Presentation and management of traumatic occipital spur fracture. *The American Journal of Emergency Medicine* 37, 1005.e1–1005.e2 (2019).
53. Shahar, D., Evans, J. & Sayers, M. G. L. Large enthesophytes in teenage skulls: Mechanical, inflammatory and genetic considerations. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 53, 60–64 (2018).
54. Macke, A. Les momies égyptiennes du Muséum d'Histoire Naturelle de Lille: radiographie, scanographie et endoscopie. *Anthropologie et Préhistoire* 102, 97–110 (1991).

55. Lambert, S. & Colard, T. Détermination du profil biologique de cinq momies du musée d'Histoire Naturelle de Lille à l'aide de la tomographie par ordinateur. DDS Tesis, Lille University (2015).*
56. Agence du numérique, ARCEP & Conseil Général de l'Economie. Baromètre du numérique 2019,
57. Burke, R., Cooper, C. & Antoniou, A.-S. Te Multi-generational and Aging Workforce., Edward Elgar Publishing, 2015.
58. Zarghooni, K. et al. Occipital bone thickness: Implications on occipital-cervical fusion. A cadaveric study. Acta Orthop Traumatol Turc 50, 606–609 (2016).
59. Claudepierre, P. & Voisin, M.-C. Te entheses: histology, pathology, and pathophysiology. Joint Bone Spine 72, 32–37 (2005).

Figures

Figure 1 : König C. Têtes d'Homme et de singe : comparons le crâne, le cerveau, le larynx, les dents... [Internet]. Futura. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/anthropologie-anatomie-comparee-homme-singe-694/page/7/>

Figure 2 : Buretić-Tomljanović A, Ostojić S, Kapović M. Secular change of craniofacial measures in Croatian younger adults. Am J Hum Biol Off J Hum Biol Counc. oct 2006;18(5):668- 75.

Exploitation scientifique du travail

1 : Publication dans le journal *Scientific Reports*

scientific reports

[Explore our content](#) ▾

[Journal information](#) ▾

[nature](#) > [scientific reports](#) > [articles](#) > [article](#)

Article | [Open Access](#) | Published: 16 April 2020

Enlarged External Occipital Protuberance in young French individuals' head CT: stability in prevalence, size and type between 2011 and 2019

Thibaut Jacques [✉](#), Alexandre Jaouen, Grégory Kuchcinski, Sammy Badr, Xavier Demondion & Anne Cotten

Scientific Reports **10**, Article number: 6518 (2020) | [Cite this article](#)

2958 Accesses | **14** Altmetric | [Metrics](#)

DOI: 10.1038/s41598-020-63554-y

2 : Article paru dans *Sciences et Avenir* à propos de la publication



Navigation menu with categories: Espace, Santé, Nutrition, Nature, Animaux, High-Tech, Archéo, Fondamental. A secondary menu includes: Allergies, Cancer, Cerveau & psy, Coeur & cardio, Dermato, Diabète, E-santé, Grossesse, Gynéco. Additional links: Covid, Vaccination, Mensuel S&A/LR : la fin de l'Univers, Trimestriel La Recherche.

SCIENCES ET Avenir > SANTÉ > E-SANTÉ

 E-SANTÉ

Non, les smartphones ne provoquent pas l'apparition d'une protubérance à l'arrière du crâne

Par Irene Lacamp le 10.05.2020 à 15h00

ABONNÉS

En 2018, un chercheur australien et son équipe ont suggéré que les smartphones pourraient provoquer le développement d'une protubérance à l'arrière du crâne chez les patients jeunes. En 2020, des radiologues français du CHU de Lille réexaminent cette hypothèse et l'invalident.

AUTEUR : Nom : JAOUEN

Prénom : Alexandre

Date de soutenance : 22 Janvier 2021

Titre de la thèse : Élargissement de la protubérance occipitale externe chez l'adulte jeune : étude comparative scanographique entre 2011 et 2019

Thèse - Médecine - Lille 2021

Cadre de classement : *Imagerie Médicale*

DES + spécialité : *DES de Radiodiagnostic et Imagerie Médicale*

Mots-clés : Radiologie, Anthropologie, Évolution, Enthèse, Scanner.

Résumé :

L'élargissement de la protubérance occipitale externe (POE) a été décrit en augmentation chez les jeunes adultes. Ce phénomène pourrait être expliqué par de nouvelles habitudes posturales, liées à l'usage des smartphones. Cette étude vient remettre en cause cette supposition, en analysant les changements en prévalence et taille des POE élargies chez les *millennials*, depuis que ces derniers utilisent massivement ces terminaux mobiles (2011-2019). Pour réaliser cette étude, des scanners cérébraux anonymisés de patients âgés de 18 à 30 ans en 2011 (n = 205) ou 2019 (n=240) ont été relus pour déterminer le type de POE et en mesurer le volume lorsqu'elle est élargie. Des analyses tomodensitométriques ont par ailleurs été réalisées sur deux squelettes, appartenant respectivement à un homme du XVI^{ème} siècle et à une momie d'une jeune femme égyptienne.

Alors que le pourcentage de *millennials* détenant un smartphone est passé de 35% à 98% entre 2011 et 2019, aucune différence significative n'a été remarquée concernant la prévalence d'une POE élargie entre 2011 (92/405, 44,9%) et 2019 (106/240, 44,22%) (P=0,92). Aucune évolution majeure n'a été constatée ni dans la distribution des volumes de POE élargies (P=0,14) ni dans leur type (P=0,92) sur cette période. Par rapport aux volumes relevés en 2019, la momie égyptienne avait une POE élargie correspondant au 85^{ème} percentile pour les femmes jeunes, tandis que le crâne du XVI^{ème} siècle avait une POE élargie correspondant au 73^{ème} percentile pour les hommes jeunes.

La prévalence et le volume des POE élargies des *millennials* étant demeurés stables entre 2011 et 2019, l'hypothèse d'un effet rapide d'un facteur environnemental nouveau sur les POE est par conséquent peu probable. L'élargissement de la protubérance occipitale externe était par ailleurs déjà présent sur des squelettes de jeunes individus lors des siècles derniers, avec des volumes dans les fourchettes supérieures actuelles.

Composition du Jury :

Présidente : Pr Anne COTTEN

Asseseurs : Pr Xavier DEMONDION ; Dr Benoît BERTRAND

Directeur de thèse : Dr Thibaut JACQUES