



CAMILA PINHATA ROCHA

THE TEMPOROMANDIBULAR JOINT: RELATIONSHIP
AMONG TEMPOROMANDIBULAR DISFUNCTION,
HEAD AND NECK POSTURE AND MASTICATORY
STRESS IN THE MANDIBULAR FOSSA OF
DIFFERENT HOMINIDS

A ARTICULAÇÃO TEMPOROMANDIBULAR:
RELAÇÃO ENTRE DISFUNÇÃO
TEMPOROMANDIBULAR, POSTURA DE CABEÇA E
PESCOÇO E TENSÕES MASTIGATÓRIAS NA FOSSA
MANDIBULAR DE DIFERENTES HOMINÍDEOS

PIRACICABA
2014



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA

CAMILA PINHATA ROCHA

THE TEMPOROMANDIBULAR JOINT: RELATIONSHIP AMONG
TEMPOROMANDIBULAR DISFUNCTION, HEAD AND NECK POSTURE AND
MASTICATORY STRESS IN THE MANDIBULAR FOSSA OF DIFFERENT
HOMINIDS

A ARTICULAÇÃO TEMPOROMANDIBULAR: RELAÇÃO ENTRE DISFUNÇÃO
TEMPOROMANDIBULAR, POSTURA DE CABEÇA E PESCOÇO E TENSÕES
MASTIGATÓRIAS NA FOSSA MANDIBULAR DE DIFERENTES HOMINÍDEOS

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Ferreira Caria

THESIS PRESENTED TO THE PIRACICABA SCHOOL
OF DENTISTRY OF THE UNIVERSITY OF CAMPINAS
IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF DOCTOR IN BUCCO
DENTAL BIOLOGY, IN THE
ANATOMY AREA.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA TESE DE DOUTORADO
APRESENTADA À FACULDADE DE
ODONTOLOGIA DE PIRACICABA DA
UNICAMP PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE DOUTORA EM BIOLOGIA
BUCCO-DENTAL, ÁREA DE
ANATOMIA.

Tese defendida pela aluna Camila Pinhata Rocha,
e orientada pelo Prof. Dr. Paulo Henrique Ferreira Caria
Assinatura do Orientador:

PIRACICABA
2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba
Marilene Girello - CRB 8/6159

R582a Rocha, Camila Pinhata, 1983-
A articulação temporomandibular : relação entre disfunção temporomandibular, postura de cabeça e pescoço e tensões mastigatórias na fossa mandibular de diferentes hominídeos / Camila Pinhata Rocha. – Piracicaba, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Paulo Henrique Ferreira Caria.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Articulação temporomandibular. 2. Postura. 3. Análise de elementos finitos. 4. Hominidae. I. Caria, Paulo Henrique Ferreira, 1972-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Temporomandibular joint : relationship among temporomandibular disorders, head and neck posture and masticatory stress in the glenoid fossa of different hominids

Palavras-chave em inglês:

Temporomandibular joint

Posture

Finite element analysis

Hominidae

Área de concentração: Anatomia

Titulação: Doutora em Biologia Buco-Dental

Banca examinadora:

Paulo Henrique Ferreira Caria [Orientador]

Mariana Trevisani Arthuri Franco

Flávio Henrique Baggio Aguiar

Ana Cláudia Rossi

Paulinne Junqueira Silva Andresen Strini

Data de defesa: 28-02-2013

Programa de Pós-Graduação: Biologia Buco-Dental



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Odontologia de Piracicaba



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de Doutorado, em sessão pública realizada em 28 de Fevereiro de 2014, considerou a candidata CAMILA PINHATA ROCHA aprovada.

Prof. Dr. PAULO HENRIQUE FERREIRA CARIA

Profa. Dra. MARIANA TREVISANI ARTHURI FRANCO

Prof. Dr. FLÁVIO HENRIQUE BAGGIO AGUIAR

Profa. Dra. ANA CLÁUDIA ROSSI

Profa. Dra. PAULINNE JUNQUEIRA SILVA ANDRESEN STRINI

RESUMO

Ao longo da evolução humana, as estruturas que formam a articulação temporomandibular, particularmente o osso temporal, têm apresentado algumas características que nos permitem diferenciar espécimes de homínídeos, e embora a morfologia dessas estruturas tenham sido bem apreciadas ao longo da evolução humana, a distribuição das tensões mastigatórias no osso temporal é apenas parcialmente compreendida, especialmente no que diz respeito às forças incidentes na fossa mandibular. Uma preocupação crescente com as alterações nessa articulação tem estimulado as pesquisas para a elucidação do complexo, função e disfunção da articulação temporomandibular. Acreditar-se que os principais fatores contribuintes que afetam a saúde dos tecidos articulares sejam as características das cargas que incidem sobre esta articulação, além disso, alguns autores reportam que problemas envolvendo postura de cabeça e pescoço também podem causar disfunções temporomandibulares. Os Objetivos deste estudo foram analisar as tensões mastigatórias na fossa mandibular de diferentes homínídeos e realizar uma revisão sistemática a fim de encontrar evidências suficientes para aceitar ou negar a associação entre postura de cabeça e pescoço e disfunções temporomandibulares. Para analisar as tensões mastigatórias na fossa mandibular dos homínídeos estudados, foi desenvolvido 1 modelo analítico tridimensional a partir de imagens tomográficas de um crânio e uma mandíbula secos de um *homo sapiens sapiens*; em seguida foram construídos 3 modelos do tipo CAD tridimensional, a partir do modelo analítico tridimensional gerado pelo crânio e mandíbula secos do *homo sapiens sapiens* e de arquivos em formato estereolitográfico dos fósseis La Ferrassie 1 e Cro-magnon 1 obtidos junto ao Museu Nacional de História Natural de Paris. Os modelos foram posteriormente convertidos em malhas de elementos finitos (Ansys 1.4) e cargas simulando a ação dos músculos masseter, temporal e pterigoideo medial foram aplicadas. Os resultados dessas simulações nos permitiram verificar que as tensões ficaram menos intensas e ocuparam uma área mais ampla na fossa mandibular dos homínídeos ao longo do tempo, e os locais com maior incidência de tensões foram os que mais sofreram modificações morfológicas. A revisão sistemática sobre o tema disfunções temporomandibulares e postura de cabeça e pescoço foi realizada nas bases de dados Medline, ISI Web of Science, EMBASE, PubMed e Lilacs. Dezesete artigos preencheram os critérios de

inclusão, os quais tiveram sua qualidade metodológica avaliada. As evidências encontradas na revisão sistemática mostraram que a relação entre disfunções temporomandibulares e postura de cabeça e pescoço ainda é controversa e o número insuficiente de artigos considerados de excelente qualidade metodológica é um fator que dificulta a aceitação ou negação desta associação.

Palavras chave: Articulação Temporomandibular. Desordem temporomandibular. Postura. Biomecânica. Análise de elementos finitos. Hominídeos.

ABSTRACT

Throughout human evolution, the structures that form the temporomandibular joint, particularly the temporal bone, have shown some characteristics that allow us to differentiate hominid specimens, and although the morphology of these structures has been well appreciated throughout human evolution, the masticatory stress distribution at the temporal bone is partially understood, especially with regard to incident forces at the mandibular fossa. A growing concern about the changes in this joint has stimulated research to elucidate the function and dysfunction complex of the temporomandibular joint. Believe that the main factors that affect the health of joint tissues are the characteristics of the loads imposed on this joint, moreover, some authors report that problems involving the head and neck posture can also cause temporomandibular disorders. The objectives of this study were to analyze the masticatory stresses in the mandibular fossa of different hominids and conduct a systematic review in order to find sufficient evidence to accept or deny the association between head and neck posture and temporomandibular disorders. To analyze the masticatory stresses in the mandibular fossa, a one-dimensional analytical model was developed from CT images of a dried skull and jaw of a *Homo sapiens sapiens*; Then 3-dimensional CAD models were developed, from the dimensional analytical model generated by the dry skull and mandible of *Homo sapiens sapiens* and stereolithographic format files of fossils La Ferrassie 1 and Cro-Magnon 1, obtained from the National Museum of Natural History in Paris. Then, the models were converted into finite element mesh (Ansys 1.4) and loads simulating the action of the masseter, temporalis and medial pterygoid were applied. The results of these simulations allowed us to verify that the stresses were less intense and occupied a wider area in the mandibular fossa of hominids over time and the locals with higher incidence of tensions were that suffered more changes morphological. The systematic review on temporomandibular disorders and posture of the head and neck was performed in Medline, ISI Web of Science, EMBASE, PubMed and Lilacs; Seventeen articles met the inclusion criteria, which had assessed their methodological quality. The evidence found in the systematic review showed that the relationship between temporomandibular disorders and posture of the head and neck is still controversial and the insufficient number of articles considered of

excellent methodological quality is a factor that hinders accept or deny of this association.

Key Words: Temporomandibular joint. Temporomandibular disorders. Posture. Biomechanics. Finite element analysis. Hominidae

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	xiii
AGRADECIMENTOS	xv
EPÍGRAFE	xix
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1: IS THERE RELATIONSHIP BETWEEN TEMPOROMANDIBULAR DISORDERS AND HEAD AND CERVICAL POSTURE? A SYSTEMATIC REVIEW.....	3
Capítulo 2: TENSÕES MASTIGATÓRIAS NA FOSSA MANDIBULAR DE DIFERENTES HOMINÍDEOS	19
CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	36
REFERÊNCIAS*	37
Anexo 1	39
Anexo 2	40

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais...

Ademir e Conceição

... exemplos de vida;

Ao meu querido irmão...

Rodrigo

... meu porto seguro;

Ao meu amado esposo...

Fábio

...meu eterno companheiro;

Ao meu filho...

Pedro

...fonte das minhas maiores alegrias.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Campinas, na pessoa do Reitor **Prof. Dr. José Tadeu Jorge**.

À Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, nas pessoas do Diretor **Prof. Dr. Jacks Jorge Junior** e do Diretor Associado, **Prof. Dr. Alexandre Augusto Zaia**.

À **Profa. Dra. Renata Cunha Matheus Rodrigues Garcia**, coordenadora geral dos cursos de Pós-Graduação e à **Profa. Dra. Renata de Oliveira Mattos Graner**, coordenadora do curso de Pós-Graduação em Biologia Buco-Dental.

Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)** pelo apoio financeiro oferecido para realização deste trabalho.

À minha sogra **Profa. Dr. Maria Beatriz Duarte Gavião**, por ter me apresentado ao mundo da pesquisa científica e colaborado ativamente para meu crescimento pessoal e profissional.

À Equipe Técnica da Coordenadoria de Pós-graduação nas pessoas de **Érica A. Pinho Sinhoreti, Raquel Q. Marcondes Cesar, Roberta Clares Morales dos Santos e Ana Paula Carone**, pela atenção e disponibilidade em me ajudar.

Ao amigo de pós-graduação **Alexandre Rodrigues Freire** pela paciência e pelos valiosos e imprescindíveis ensinamentos sobre a realização das análises de elementos finitos. Sem sua ajuda meu caminho seria muito mais difícil. Muito obrigada!

Aos meus grandes amigos de pós-graduação **Carlos López, Cristiane Muller, Eliza Rolfini, Liege Bisceglie, Maria Fernanda Ferreira, Rosário De La Torre**,

Valério Almeida. Agradeço pelos momentos de felicidade e companheirismo, e também pela atenção especial e carinho de todos. Sempre dispostos a me ajudar.

À amiga **Carla S Croci**, pelos momentos e conhecimentos compartilhados.

Às amigas **Amanda Carvalho, Angélica Silva, Camila Mariano, Carla Mariano, Josiane Fedatto** e **Nina Zinly** pelo companheirismo, lealdade, e amizade sincera. Amigas pra vida toda!

À amiga **Patrícia Zaia**, presente fielmente em todos os momentos felizes e nas batalhas do dia-dia.

Aos Professores **Adalberto Corazza, Ana Cláudia Rossi** e **Felipe Prado** pela atenção e sugestões oferecidas no exame de qualificação.

Aos Professores **Richard Halti Cabral, Mariana Trevisani Arthuri Franco, Ana Cláudia Rossi, Flávio Henrique Baggio Aguiar, Simone Cecilio Hallak Regalo, Paulinne Junqueira Silva Andresen Strini, Felipe Bevilacqua Prado**, pela disponibilidade e pelo aceite do convite para compor a banca.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

A **Deus**, essa força maior que me fortalece e me dá fé e sabedoria para superar todos os desafios da minha vida.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Paulo Henrique Ferreira Caria**, pela participação ativa na realização deste trabalho, e acima de tudo no meu crescimento profissional e pessoal ensinando-me a importância de ser *leal, íntegro e moralmente corajoso*.

Ao Senhor, meu eterno agradecimento!

*“Educação é aquilo que fica
depois que você esquece o
que a escola ensinou.”*

Albert Einstein

EPÍGRAFE

“Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia: e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem de nós mesmos.”

Fernando Pessoa

INTRODUÇÃO

A articulação temporomandibular (ATM) é uma das mais complexas e usadas articulações do corpo humano e está envolvida em importantes funções como mastigação e fala (Alomar et al., 2007; Ingawale & Goswami, 2009; Kitsoulis et al., 2011). Suas superfícies articulares são cobertas por fibrocartilagem avascular e não inervada; Os músculos temporais e masseteres são os responsáveis por controlar os movimentos desta articulação (Kitsoulis et al., 2011).

As disfunções temporomandibulares (DTMs) são um grupo heterogêneo de patologias que afetam os músculos envolvidos na mastigação, a ATM ou ambos (Okeson, 2008); Esta é uma doença multifatorial e entre os diferentes fatores etiológicos estão: oclusão, trauma, atividades parafuncionais e fatores psicológicos (Bonjardim et al., 2005). Além disso, vários autores relatam que problemas posturais envolvendo cabeça e coluna cervical também podem causar DTM (de Wijer et al., 1996; Makofsky et al., 2000; Visscher et al., 2001), porém esta associação entre a postura crânio-cervical e DTM ainda é incerta; Alguns estudos mostram que indivíduos com DTMs apresentam alterações na postura de cabeça e pescoço (Nikolakis et al., 2000; Sonnesen et al., 2001), no entanto, outros estudos não encontram nenhuma relação (Visscher et al., 2001; Matheus et al., 2009).

Acreditar-se que os principais fatores contribuintes que afetam a saúde dos tecidos articulares sejam as características das cargas que incidem sobre a ATM, incluindo a magnitude, direção, frequência e duração das forças opositoras sobre as superfícies dos tecidos articulares (Katada et al., 2009). Estudos demonstram que ao longo da evolução humana ocorrem mudanças morfológicas significativas no complexo crânio facial, inclusive na ATM. Estas variações têm sido apontadas como resposta as diferenças funcionais do aparelho mastigatório provocadas por mudanças no comportamento alimentar (Hylander & Crompton, 1980; Vinyard et al., 2003).

Atualmente, essa questão de como as variações morfológicas no esqueleto refere-se à função tem sido alvo de alguns estudos que tentam compreender o funcionamento de algumas patologias que acometem o complexo crânio-facial, como por exemplo, as disfunções temporomandibulares, que encontram seus primeiros relatos no Antigo Egito e nos trabalhos de Hipócrates, há 2400 mil anos (Connors, 1925), e que atualmente estão entre as dores orofaciais de origem musculoesqueléticas

mais comuns. Uma preocupação crescente com as alterações morfológicas ocorridas nessa articulação tem estimulado as pesquisas para a elucidação do complexo, função e disfunção da ATM, porém a distribuição das tensões mastigatórias na articulação temporomandibular e especialmente na fossa mandibular dos homínídeos ainda é apenas parcialmente compreendida.

Entre os possíveis métodos utilizados para avaliar as cargas mecânicas sobre as estruturas craniofaciais, destaca-se a análise por elementos finitos (AEF) (Boryor et al., 2010), que permite modelar matematicamente estruturas complexas com geometrias irregulares e possibilita a aplicação de um sistema de forças em qualquer ponto e/ou direção, permitindo assim, obter o preciso conhecimento da intensidade e locais de dissipação das cargas aplicadas (Kupczik et al., 2007); Além disso, a natureza maleável e não destrutiva dos modelos de elementos finitos e sua capacidade de revelar a informação detalhada, possibilita aos pesquisadores a realização de experimentos com real aplicação de complexos sistemas de forças em seres vivos, sem envolver aspectos éticos. Por esses motivos, a AEF tem sido utilizada em antropologia e morfologia funcional na tentativa de melhor compreender a forma e a função do sistema estomatognático de diferentes espécies. (Richmond et al., 2005; Wroe et al., 2007; Kupczik et al., 2007; Clausen et al., 2008; Farke, 2008; Moreno et al., 2008; Rayfield & Milner, 2008).

Sendo assim, foi realizada uma revisão sistemática da literatura relacionando a DTM e postura crânio-cervical, assim como uma avaliação das tensões mastigatórias na fossa mandibular de diferentes homínídeos.

CAPÍTULO 1: IS THERE RELATIONSHIP BETWEEN TEMPOROMANDIBULAR DISORDERS AND HEAD AND CERVICAL POSTURE? A SYSTEMATIC REVIEW

ARTIGO PUBLICADO NO PERIÓDICO: JOURNAL OF ORAL REHABILITATION 2013 40; 875- 881

Running head: Temporomandibular disorders and head and cervical posture

Article category: review

Camila P Rocha*, Carla S Croci*, Paulo H F Caria*

* Department of Morphology-Anatomy, Piracicaba Dental School, University of Campinas, Piracicaba, Brazil.

Summary

The objective of this systematic review was to find sufficient evidence to deny or accept the association between the head and cervical posture and temporomandibular disorders (TMDs), and thus assist health professionals in the evaluation and treatment of patients with TMDs. A search was conducted through all publications written in English about this topic using the databases from Medline, ISI Web of Science, Embase, Pubmed and Lilacs. The abstracts that fulfilled the initial guideline were retrieved and evaluated to ensure they met the inclusion criteria. To assess the methodological quality of the studies, we developed a questionnaire considering the following criteria: participant's eligibility, control group, diagnosis of TMDs, posture diagnosis and randomization. Twenty-two studies were selected as potential studies based on their abstracts. Only seventeen studies actually fulfilled the inclusion criteria. The search provided information about the methodological quality of the studies, in which several methodological defects were found. The evidence presented in this systematic review shows that the relation between TMDs and the head and neck posture is still controversial and unclear. The insufficient number of articles considered of excellent methodological quality is a factor that hinders the acceptance or denial of this association.

Keywords: temporomandibular joint disorders, craniofacial disorders, facial pain, cervical vertebrae, neck, and posture.

Introduction

The Temporomandibular joint (TMJ) is one of the most complex and used joints in the human body, developing important functions such as chewing and speaking ⁽¹⁻³⁾. The articular surfaces are covered by avascular and non-innervated fibrocartilage, which has a high regenerative capacity. The temporalis and masseter muscles control the joint's motion ⁽³⁾.

Temporomandibular disorders (TMDs) are a heterogeneous group of pathologies affecting the muscles involved in mastication, the temporomandibular joint (TMJ), or both. The most common signs and symptoms are: pain localized in the pre-auricular and/or chewing muscles' area, joint sounds (clicks or crepitus), and limitations or deviation upon mandibular opening ^(4, 5, 6).

TMD is a multifactorial disease and among its different etiological factors mainly five of them have been related to it: occlusion, trauma, deep pain stimulus, parafunctional activities, and psychological factors, such as anxiety, depression and stress ^(7, 8).

In addition, several authors have reported that postural problems involving the head and cervical spine can also cause TMDs ^(9, 10, 11) (since the stomatognathic system and cervical spine can be considered as one) because the TMJ has muscular and ligamentous connections with the cervical region, constituting a functional compound ⁽¹²⁾, where the movements of the atlanto-occipital joint and cervical vertebrae occur simultaneously with the activation of the masticatory muscles and jaw movements ⁽³⁾.

This association between craniocervical posture and TMDs has been researched but, despite the large number of studies, there is still doubt among clinicians and researchers. Some studies show that individuals with TMDs present changes in the posture of the head and cervical spine ^(13, 14); however, other studies find no such link ^(11, 15). Thus, it is necessary to carry out a systematic review on the subject in order to find

sufficient evidence to deny or accept this association, hence assisting health professionals in the evaluation and treatment of patients with TMDs.

Materials and methods

Search Strategy

A computerized database search was performed to identify relevant articles that examined the association between head and cervical spine posture and TMDs (joint pain/arthritis, muscular pain/limitation or both). We conducted a search through Medline (1966 through January 08, 2013), ISI Web of Science (1965 through January 08, 2013) Embase (1988 through January 08, 2013), Pubmed (1966 through January 08, 2013) and Lilacs (1982 through January 08, 2013). The keywords used in the search were: temporomandibular joint disorders, craniofacial disorders, facial pain, cervical vertebrae, neck, and posture. Only articles written in English language were selected. For details regarding the specific search terms and combinations see Table 1.

Criteria Implemented to Consider Studies for this Review

Types of Studies: The articles that studied individuals with TMD diagnosis (joint pain/arthritis, muscular pain/limitation or both) and evaluated the association between head and cervical spine posture and TMDs were eligible for this study. Studies with children and participants with a case history of TMJ surgery, trauma or fracture in the craniomandibular system, and/or other serious comorbid conditions (e.g. cancer, rheumatic disease, neurological problems) were excluded, as well as case studies and literary reviews.

Table 1. Search Results from Different Databases

Database	Keywords	Results	Selected	Included
PubMed	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temporomandibular joint disorders 2. Craniomandibular disorders 3. Facial pain 4. 1 OR 2 OR 3 5. Cervical vertebrae 6. Neck 7. 4 AND 5 OR 6 8. Posture 9. 4 AND 7 AND 8 (limits: "Human" and "English language")	79	17	12
Embase	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temporomandibular joint disorders 2. Craniomandibular disorders 3. Facial pain 4. 1 AND 2 AND 3 (limits: "Human" and "English language")	57	0	0
Medline	((Craniomandibular disorders) or "temporomandibular joint disorders") or "facial pain" [subject descriptor]and (cervical vertebrae) or "neck"[subject descriptor] and posture [subject descriptor]	37	13	09
Lilacs	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temporomandibular joint disorders 2. Posture 3. 1 AND 2 	27	6	6
Web of Science	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temporomandibular joint disorders 2. Cervical vertebrae 3. Posture 4. 1 AND 2 AND 3 	03	03	2
Total		203	39	29
Repeated articles			17	12
Final			22	17

Data Extraction

Two reviewers selected and reviewed the articles. First, each one independently selected the articles from their abstracts, and when considered potentially useful, copies of the articles were obtained and analyzed in accordance with the inclusion criteria. The Kappa test was applied to verify the agreement between the authors. When discrepancies between reviewers appeared with regard to whether a paper met one criterion or not, the rating forms were compared and the criterion discussed until a consensus was reached.

Quality Assessment

The authors developed a questionnaire to assess the methodological quality of studies, considering the following criteria: randomization, examiners' blinding, eligibility criteria, control group, information about the methodology used to measure the head and cervical posture, and information about the methodology used to evaluate TMDs. For each positive response the study received one point, so at the end the studies were rated as weak (one to two), moderate (three to four) or strong (five to six) (Table 2).

The critical appraisal was independently completed by the 2 reviewers, and their results were compared afterwards. Any discrepancies were settled through discussion.

Results

The literary search in the different databases resulted in a total of 203 articles. From these 203 articles, 22 were selected as potential studies based on their abstracts ($K= 0.89$ $P < 0.001$). Only 17 studies actually fulfilled the initial criteria. The result of the Kappa test to select articles after applying the inclusion/exclusion criteria was $K= 1.0$ ($P < 0.001$); therefore, 100% agreement was obtained between the two researchers. Five studies were rejected after applying the inclusion/exclusion criteria. The reasons for exclusion included non-experimental studies: literary reviews ^(30, 31, 32), letters to the editor ⁽³³⁾ and studies with children ⁽¹⁴⁾.

Methodological quality of included studies

The agreement between the two reviewers was perfect: $K= 1.0$ ($P < 0.001$). The characteristics of the studies analyzed by this review were:

- Use of a randomized sample in the selection process: 6 (18, 22, 24, 11, 25, 29) of 17 studies;
- Examiners' blinding: 10 (16, 13, 15, 17, 18, 20, 24, 11, 25, 29) of 17 studies;
- Proper report about the eligibility criteria: 12 (16, 13, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 11, 25, 26, 29) of 17 studies;
- Use of a control group: 15 (16, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 11, 26, 27, 28, 29) of 17 studies;
- Proper report about the methodology used to measure the head and cervical posture: 13 (9,15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 11, 26, 28) of 17 studies;
- Proper report about the methodology used to diagnose TMDs: 14 (16, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 11, 25, 26, 27) of 16 studies;

The results of the critical appraisal are presented in table 2.

Study's results / Methodological quality of included studies

Seventeen studies were evaluated and 70.58% (11, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 13, 25, 27, 28) presented connections between TMDs and the head and neck posture, from which 5 were classified as strong, 4 as moderate and 3 as weak. 29.42% (16, 18, 15, 26, 29) of the studies did not find connections between TMDs and the head and neck posture, from which 2 were classified as strong and 3 as moderate (Table 3).

Table 2. Methodological rating of included studies

	Randomization		Blinding of examiner		Eligibility criteria		Control group?		Information about the methodology used to measure the head and cervical posture		Information about the methodology used for the evaluation of TMDs		Rating
	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	
Armijo et al ⁽¹⁶⁾		0	1		1		1		1		1		5
De Farias Neto et al ⁽¹⁷⁾		0	1		1		1		1		1		5
Iunes et al ⁽¹⁸⁾	1		1		1		1		1		1		6
Matheus et al ⁽¹⁵⁾		0	1			0	1		1		1		4
Saito et al ⁽¹⁹⁾		0		0	1		1		1		1		4
Strini et al ⁽²⁰⁾		0	1		1			0	1		1		4
Ferrão et al ⁽²¹⁾		0		0		0		0	1		1		2
Munhoz et al ⁽²²⁾	1			0	1		1		1		1		5
Evcik & Aksoy ⁽²³⁾		0		0		0	1		1		1		3
Munhoz et al ⁽²⁴⁾	1		1		1		1		1		1		6
Visscher et al ⁽¹¹⁾	1		1		1		1		1		1		6
Nicolakis et al ⁽¹³⁾		0	1		1		1			0		0	3
Wright et al ⁽²⁵⁾	1		1		1		1			0	1		5
Hackney et al ⁽²⁶⁾		0		0	1		1		1		1		4
Huggare et al ⁽²⁷⁾		0		0		0	1			0	1		2
Shiau et al ⁽²⁸⁾		0		0		0	1		1			0	2
Darlow et al ⁽²⁹⁾	1		1		1		1			0		0	4

Table 3. Presentation of study's results and scores received according to our evaluation

	Rating	Association between craniocervical posture and TMDs
Iunes et al ⁽¹⁸⁾	6	negative
Munhoz et al ⁽²⁴⁾	6	positive
Visscher et al ⁽¹¹⁾	6	positive
Armijo et al ⁽¹⁶⁾	5	negative
De Farias Neto et al ⁽¹⁷⁾	5	positive
Munhoz et al ⁽²²⁾	5	positive
Wright et al ⁽²⁵⁾	5	positive
Matheus et al ⁽¹⁵⁾	4	negative
Saito et al ⁽¹⁹⁾	4	positive
Strini et al ⁽²⁰⁾	4	positive
Hackney et al ⁽²⁶⁾	4	negative
Darlow et al ⁽²⁹⁾	4	negative
Evcik & Aksoy ⁽²³⁾	3	positive
Nicolakis et al ⁽¹³⁾	3	positive
Ferrão et al ⁽²¹⁾	2	positive
Huggare et al ⁽²⁷⁾	2	positive
Shiau et al ⁽²⁸⁾	2	positive

Discussion

Nowadays, the easy access to scientific conducted studies enables the dissemination of knowledge and brings benefits to the scientific and medical community; however, it is necessary to analyze carefully their quality, to avoid erroneous conclusions from their

results. This discussion approached selected studies that verified the association between head and cervical posture and TMDs, presenting the real applicability to the clinical practice.

Among the seventeen articles selected in this review, seven ^(16, 17, 18, 24, 11, 22, 25) were classified as strong, according to our evaluation criteria; only 2 ^(16, 18) concluded that the posture of Individuals with TMDs does not differ from the posture of people without TMDs. Therefore, the presence of TMDs does not influence the head and cervical spine posture. Iunes et al ⁽¹⁸⁾ was rated with a 6, so their results can be considered reliable because of the high methodological quality presented. The results showed by Armijo et al ⁽¹⁶⁾ and Wright et al ⁽²⁵⁾ are also considered reliable, despite the fact that Armijo et al ⁽¹⁶⁾ did not use a random sample, and that assessment criteria for the head and neck posture were not clearly specified by Wright et al ⁽²⁵⁾. Other 5 studies ^(11, 17, 20, 22, 24) that were considered strong found association between TMDs and the head and neck posture, although just Visscher et al ⁽¹¹⁾ and Munhoz et al ⁽²⁴⁾ did not present methodological failures according to our assessments. As for the study performed by Munhoz et al. ⁽²²⁾, the examiners were not blinded, potentially increasing the risk of bias and compromising the reliability of the results. De Farias Neto et al ⁽¹⁷⁾ found that individuals with TMDs have a tendency to present hyperlordosis of the cervical spine, but the authors pointed out that their results should be carefully examined taking into account the small sample size. They also questioned whether the static postural assessment of the cervical spine used by them is the most appropriate to study the relationship between TMDs and the cervical spine, once the temporomandibular joint is a dynamic component. Wright et al ⁽²⁵⁾ made their results less reliable because they do not describe clearly the methods used to evaluate the head and neck posture.

Among the seven studies ^(15, 19, 20, 21, 23, 13, 26) classified as moderate, four ^(19, 20, 23, 13) presented association between TMDs and the head and neck posture; however, among six items analyzed through a questionnaire developed to assess the methodological quality, at least two flaws appeared in those studies, making them less reliable. Saito et al ⁽¹⁹⁾, did not use a random sample, did not describe the methodology used for the diagnosis, and neither reported whether the evaluators were calibrated for the exams. However, they carefully

described how the patients' disorders were clinically diagnosed by graduate students and how those diagnoses were confirmed by specialists later on. Nicolakis et al ⁽¹³⁾ and Strini et al ⁽²⁰⁾ did not include a control group in their research, which restricts the search for the relationship between cause and effect. However, ethical implications must be considered as well as treatment simulations in healthy individuals, which may be questionable. Evcik & Aksoy ⁽²³⁾ also made mistakes, weakening the validity of their results. They did not use a random sample, the examiners were not blinded and the eligibility criteria of the sample were not specified.

Matheus et al ⁽¹⁵⁾, Hackney et al ⁽²⁶⁾ and Darlow et al ⁽²⁹⁾, whose studies were classified as moderate, did not find connection between TMDs and the head and neck posture, but the lack of randomization of the samples and the failure in the description of the eligibility criteria in the selection stage of the samples, weakened the results of those studies. Just like the failure in the description of the methods used for evaluating TMDs and the head and neck posture, the reliability of the results presented by Darlow et al ⁽²⁹⁾ also decreased, preventing the association between mixed TMDs and the head and neck posture, since this would require more support with the help of accurate diagnostic methods.

Three studies ^(21, 27, 28) classified as weak by this review presented connection between TMDs and the head and neck posture. However, the inclusion and exclusion criteria were not clearly described for the sample selection, which complicates the interpretation of results, since the characteristics of the population were not precisely defined. The sample selection in a scientific study should clearly define the criteria for inclusion and exclusion, so that the sample accurately represents the population with the desired characteristics, thus minimizing factors that may compromise the final results. Additionally, none of the 3 studies ^(21, 27, 28) was a blinded study and samples were not randomized in the selection process, potentially increasing the risk of bias and compromising the reliability of results.

According to our evaluation criteria, only 7 studies ^(16, 17, 18, 22, 24, 11, 25) among all the selected ones presented high methodological quality, 5 studies ^(11, 17, 22, 23, 28) presented relationship between TMDs and the head and neck posture, and 2 ^(16, 18) presented no correlation whatsoever. On the other hand, just 3 studies ^(18, 24, 11) showed excellent

methodological quality, which means that they reached the highest rating (6) in our evaluation. Therefore, 100% of the studies that presented no relationship between TMDs and the head and neck posture had good methodological quality and were classified with a strong or moderate rating, 20% of the studies that presented a relationship between TMDs and the head and neck posture had their methodological qualities considered weak, and 80% strong or moderate.

In summary, the authors did not reach a consensus on the presence of the relationship between TMDs and the head and neck posture. Some studies have supported this hypothesis and others have not. In this review, 70.58% of the studies found a relationship between TMDs and the head and neck posture, but evidences are not a matter of quantity, but quality. It was possible to find carefully prepared studies that showed the relationship between TMDs and the head and neck posture, as well as studies that did not present this relationship. Bearing in mind the complexity of etiology and diagnostics of TMDs and its possible connection with the head and neck posture, more quality and careful studies are required.

In this review, it is necessary to take into account that there was no evaluation neither for the sample size nor statistical analysis used by the authors, factors that could have influenced on the evaluation results.

Conclusion

The evidence presented in this systematic review show that the relationship between TMDs and the head and neck posture is still controversial and unclear. The insufficient number of articles considered of excellent methodological quality is a factor that hinders the acceptance or denial of this association.

Acknowledgments

The authors thank the National Council of Technological and Scientific Development for financial support for the first author.

- **Ethical approval:** not applicable; **Source of funding for the study:** not applicable;
There are not conflicts of interest

REFERENCES

1. Alomar X, Medrano J, Cabratosa J, et al. Anatomy of the temporomandibular joint. *Semin Ultrasound CT MR*. 2007;28(3):170-83.
2. Ingawale S, Goswami T. Temporomandibular joint: disorders, treatments, and biomechanics. *Ann Biomed Eng*. 2009;37(5):976-96.
3. Kitsoulis P, Marini A, Iliou K, et al. Signs and symptoms of temporomandibular joint disorders related to the degree of mouth opening and hearing loss. *BMC Ear Nose Throat Disord*. 2011;11:5.
4. Bevilaqua Grossi D, Chaves TC, Oliveira AS, et al. Anamnestic index severity and signal and symptoms of TMD. *J Craniomandibular Pract*. 2006;24:112-118.
5. Okeson JP. The classification of orofacial pains. *Oral Maxillofac Surg Clin N Am*. 2008;20:133-144.
6. Laskin DM. Etiology of the pain-dysfunction syndrome. *J Am Dent Assoc*. 1969;79:147-153.
7. American Academy of Orofacial Pain. De Leeuw R. (Ed). Orofacial pain. Guidelines for assessment diagnosis and management. 4th Ed Chicago: Quintessence, 2008: 1-59, 129-204.
8. Bonjardim LR, Gavião MB, Pereira LJ, Castelo PM. Anxiety and depression in adolescents and their relationship with signs and symptoms of temporomandibular disorders. *Int J Prosthodont*. 2005;18(4):347-52.
9. de Wijer A, Steenks MH, Bosman F, Helders PJ, Faber J. Symptoms of the stomatognathic system in temporomandibular and cervical spine disorders. *J Oral Rehabil*. 1996;23(11):733-41.
10. Makofsky HW. The influence of forward head posture on dental occlusion. *Cranio*. 2000;18(1):30-9.
11. Visscher CM, Lobbezoo F, de Boer W, van der Zaag J, Naeije M. Prevalence of cervical spinal pain in craniomandibular pain patients. *Eur J Oral Sci*. 2001;109(2):76-80.
12. Rocabado M. Biomechanical relationship of the cranial, cervical, and hyoid regions. *J Craniomandibular Pract*. 1983;1(3):61-6.
13. Nicolakis P, Nicolakis M, Piehslinger E, et al. Relationship between craniomandibular disorders and poor posture. *Cranio*. 2000;18(2):106-12.

14. Sonnesen L, Bakke M, Solow B. Temporomandibular disorders in relation to craniofacial dimensions, head posture and bite force in children selected for orthodontic treatment. *Eur J Orthod.* 2001;23(2):179-92.
15. Matheus RA, Ramos-Perez FM, Menezes AV, et al. The relationship between temporomandibular dysfunction and head and cervical posture. *J Appl Oral Sci.* 2009;17(3):204-8.
16. Armijo-Olivo S, Rappoport K, Fuentes J, et al. Head and cervical posture in patients with temporomandibular disorders. *J Orofac Pain.* 2011;25(3):199-209.
17. de Farias Neto JP, de Santana JM, de Santana-Filho VJ, Quintans-Junior LJ, de Lima Ferreira AP, Bonjardim LR. Radiographic measurement of the cervical spine in patients with temporomandibular dysfunction. *Arch Oral Biol.* 2010;55(9):670-8.
18. Iunes DH, Carvalho LCF, Oliveira AS, Bevilaqua-Grossi D. Craniocervical posture analysis in patients with temporomandibular disorder. *Rev bras fisioter.* 2009;13(1):89-95.
19. Saito ET, Akashi PM, Sacco Ide C. Global body posture evaluation in patients with temporomandibular joint disorder. *Clinics (Sao Paulo).* 2009;64(1):35-9.
- Olivo SA, Bravo J, Magee DJ, Thie NM, Major PW, Flores-Mir C. The association between head and cervical posture and temporomandibular disorders: a systematic review. *J Orofac Pain.* 2006;20(1):9-23.
19. Solow B, Sandham A. Cranio-cervical posture: a factor in the development and function of the dentofacial structures. *Eur J Orthod.* 2002;24(5):447-56.
20. Strini PJSa, Machado NAdG, Gorreri MC, Ferreira AdF, Sousa GdC, Fernandes Neto AJ. Postural evaluation of patients with temporomandibular disorders under use of occlusal splints. *J appl oral sci.* 2009;17(5):539-543.
21. Ferrão MIB, Traebert J. Prevalence of temporomandibular dysfunction in patients with cervical pain under physiotherapy treatment. *Fisioter mov.* 2008;21(4):63-70.
22. Munhoz WC, Marques AP, de Siqueira JT. Evaluation of body posture in individuals with internal temporomandibular joint derangement. *Cranio.* 2005;23(4):269-77.
23. Evcik D, Aksoy O. Relationship between head posture and temporomandibular dysfunction syndrome. *Journal of Musculoskeletal Pain.* 2004;12(2):19-24.
24. Munhoz WC, Marques AP, Siqueira JT. Radiographic evaluation of cervical spine of subjects with temporomandibular joint internal disorder. *Braz Oral Res.* 2004;18(4):283-9.

25. Wright EF, Domenech MA, Fischer JR, Jr. Usefulness of posture training for patients with temporomandibular disorders. *J Am Dent Assoc.* 2000;131(2):202-10.
26. Hackney J, Bade D, Clawson A. Relationship between forward head posture and diagnosed internal derangement of the temporomandibular joint. *J Orofac Pain.* 1993;7(4):386-90.
27. Huggare JA, Raustia AM. Head posture and cervicovertebral and craniofacial morphology in patients with craniomandibular dysfunction. *Cranio.* 1992;10(3):173-7; discussion 178-9.
28. Shiau YY, Chai HM. Body posture and hand strength of patients with temporomandibular disorder. *Cranio.* 1990;8(3):244-51.
29. Darlow LA, Pesco J, Greenberg MS. The relationship of posture to myofascial pain dysfunction syndrome. *J Am Dent Assoc.* 1987;114(1):73-5.
30. Olivo SA, Bravo J, Magee DJ, Thie NM, Major PW, Flores-Mir C. The association between head and cervical posture and temporomandibular disorders: a systematic review. *J Orofac Pain.* 2006;20(1):9-23.
31. Solow B, Sandham A. Cranio-cervical posture: a factor in the development and function of the dentofacial structures. *Eur J Orthod.* 2002;24(5):447-56.
32. Gonzalez HE, Manns A. Forward head posture: its structural and functional influence on the stomatognathic system, a conceptual study. *Cranio.* 1996;14(1):71-80.
33. Robson FC. The clinical evaluation of posture: relationship of the jaw and posture. *Cranio.* 2001;19(2):144.
13. Nicolakis P, Nicolakis M, Piehslinger E, et al. Relationship between craniomandibular disorders and poor posture. *Cranio.* 2000;18(2):106-12.
14. Sonnesen L, Bakke M, Solow B. Temporomandibular disorders in relation to craniofacial dimensions, head posture and bite force in children selected for orthodontic treatment. *Eur J Orthod.* 2001;23(2):179-92.
15. Matheus RA, Ramos-Perez FM, Menezes AV, et al. The relationship between temporomandibular dysfunction and head and cervical posture. *J Appl Oral Sci.* 2009;17(3):204-8.
16. Armijo-Olivo S, Rappoport K, Fuentes J, et al. Head and cervical posture in patients with temporomandibular disorders. *J Orofac Pain.* 2011;25(3):199-209.

17. de Farias Neto JP, de Santana JM, de Santana-Filho VJ, Quintans-Junior LJ, de Lima Ferreira AP, Bonjardim LR. Radiographic measurement of the cervical spine in patients with temporomandibular dysfunction. *Arch Oral Biol.* 2010;55(9):670-8.
18. Iunes DH, Carvalho LCF, Oliveira AS, Bevilaqua-Grossi D. Craniocervical posture analysis in patients with temporomandibular disorder. *Rev bras fisioter.* 2009;13(1):89-95.
19. Saito ET, Akashi PM, Sacco Ide C. Global body posture evaluation in patients with temporomandibular joint disorder. *Clinics (Sao Paulo).* 2009;64(1):35-9.
- Olivo SA, Bravo J, Magee DJ, Thie NM, Major PW, Flores-Mir C. The association between head and cervical posture and temporomandibular disorders: a systematic review. *J Orofac Pain.* 2006;20(1):9-23.
19. Solow B, Sandham A. Cranio-cervical posture: a factor in the development and function of the dentofacial structures. *Eur J Orthod.* 2002;24(5):447-56.
20. Strini PJSA, Machado NAdG, Gorreri MC, Ferreira AdF, Sousa GdC, Fernandes Neto AJ. Postural evaluation of patients with temporomandibular disorders under use of occlusal splints. *J appl oral sci.* 2009;17(5):539-543.
21. Ferrão MIB, Traebert J. Prevalence of temporomandibular dysfunction in patients with cervical pain under physiotherapy treatment. *Fisioter mov.* 2008;21(4):63-70.
22. Munhoz WC, Marques AP, de Siqueira JT. Evaluation of body posture in individuals with internal temporomandibular joint derangement. *Cranio.* 2005;23(4):269-77.
23. Evcik D, Aksoy O. Relationship between head posture and temporomandibular dysfunction syndrome. *Journal of Musculoskeletal Pain.* 2004;12(2):19-24.
24. Munhoz WC, Marques AP, Siqueira JT. Radiographic evaluation of cervical spine of subjects with temporomandibular joint internal disorder. *Braz Oral Res.* 2004;18(4):283-9.
25. Wright EF, Domenech MA, Fischer JR, Jr. Usefulness of posture training for patients with temporomandibular disorders. *J Am Dent Assoc.* 2000;131(2):202-10.
26. Hackney J, Bade D, Clawson A. Relationship between forward head posture and diagnosed internal derangement of the temporomandibular joint. *J Orofac Pain.* 1993;7(4):386-90.
27. Huggare JA, Raustia AM. Head posture and cervicovertebral and craniofacial morphology in patients with craniomandibular dysfunction. *Cranio.* 1992;10(3):173-7; discussion 178-9.

28. Shiau YY, Chai HM. Body posture and hand strength of patients with temporomandibular disorder. *Cranio*. 1990;8(3):244-51.
29. Darlow LA, Pesco J, Greenberg MS. The relationship of posture to myofascial pain dysfunction syndrome. *J Am Dent Assoc*. 1987;114(1):73-5.
30. Olivo SA, Bravo J, Magee DJ, Thie NM, Major PW, Flores-Mir C. The association between head and cervical posture and temporomandibular disorders: a systematic review. *J Orofac Pain*. 2006;20(1):9-23.
31. Solow B, Sandham A. Cranio-cervical posture: a factor in the development and function of the dentofacial structures. *Eur J Orthod*. 2002;24(5):447-56.
32. Gonzalez HE, Manns A. Forward head posture: its structural and functional influence on the stomatognathic system, a conceptual study. *Cranio*. 1996;14(1):71-80.
33. Robson FC. The clinical evaluation of posture: relationship of the jaw and posture. *Cranio*. 2001;19(2):144.

Capítulo 2: TENSÕES MASTIGATÓRIAS NA FOSSA MANDIBULAR DE DIFERENTES HOMINÍDEOS

Autores: Rocha CP¹, Freire AR¹, Caria PHF¹

¹ Departamento de Morfologia, área de Anatomia, Faculdade de Odontologia de Piracicaba-UNICAMP, Piracicaba, SP, Brasil.

***Este artigo será traduzido para o inglês e posteriormente submetido ao periódico: American Journal of Physical Anthropology.**

Resumo

Ao longo da evolução humana, as estruturas que formam a articulação temporomandibular, particularmente o osso temporal, têm apresentado algumas características que nos permitem diferenciar espécimes de hominídeos, e embora a morfologia dessas estruturas tenha sido bem apreciada ao longo da evolução humana, a distribuição das tensões mastigatórias neste osso é apenas parcialmente compreendido, especialmente no que diz respeito às forças incidentes na fossa mandibular. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar as tensões mastigatórias na fossa mandibular de diferentes hominídeos. Para isso, foi desenvolvido 1 modelo analítico tridimensional a partir de imagens tomográficas de um crânio e uma mandíbula secos de um homo sapiens sapiens; em seguida foram construídos 3 modelos do tipo CAD tridimensional, a partir do modelo analítico tridimensional gerado pelo crânio e mandíbula secos do homo sapiens sapiens e de arquivos em formato estereolitográfico dos fósseis La Ferrassie 1 e Cro-magnon 1 obtidos junto ao Museu Nacional de História Natural de Paris. Os modelos foram posteriormente convertidos em malhas de elementos finitos (Ansys 1.4) e cargas simulando a ação dos músculos masseter, temporal e pterigoideo medial foram aplicadas. Os resultados dessas simulações nos permitiram verificar que as tensões ficaram menos intensas e ocuparam uma área mais ampla na fossa mandibular dos hominídeos ao

longo do tempo, e os locais com maior incidência de tensões foram os que mais sofreram modificações morfológicas.

Palavras chave: Análise de elementos finitos, biomecânica, articulação temporomandibular, homínídeos.

Introdução

As estruturas crânio-faciais sofreram significativas mudanças morfológicas considerando a escala evolutiva da espécie humana (Harvati 2003; Lockwood et al., 2002), tais mudanças podem ser atribuídas à fatores genéticos e ambientais (Lieberman et al., 2002; Klingenberg et al., 2003; Hallgrímsson et al., 2004; González-José et al., 2005). As variações morfofuncionais do esqueleto humano têm sido estudadas na tentativa de estabelecer relações entre causa e efeito (Sicher 1965; Standlee & Caputo 1987; Biewener 1990; Hylander & Johnson 1997) como, por exemplo, as cargas mastigatórias que têm sido consideradas um dos principais fatores responsáveis por gerar mudanças significativas no complexo crânio-facial (Corruccini, 1999; Lieberman et al., 2004; Gonzalez-José et al., 2005; Lieberman et al, 2008; Pashetta et al., 2010).

A articulação temporomandibular tem sido alvo de estudos que analisam a evolução da espécie humana e os mesmos demonstram que a forma desta articulação varia tanto entre os primatas quanto entre os homínídeos (Lockwood et al., 2002; Terhune et al., 2007; Terhune, 2011). Estas variações têm sido apontadas como resposta as diferenças funcionais do aparelho mastigatório provocadas por mudanças no comportamento alimentar (Vinyard,1999; Vinyard et al., 2003). Sabe-se que a magnitude e a localização da força de reação causada pelos músculos mastigatórios variam dependendo da posição do ponto de mordida, posição da ATM em relação aos dentes, bem como a forma global do aparelho mastigatório (Terhune, 2011). Atualmente é aceito que a redução da atividade dos músculos mastigatórios leva a diminuição do tamanho dos músculos e das estruturas relacionadas (Molnar and Ward, 1976; Pashetta et al., 2010;).

Ao longo da evolução humana, as estruturas que formam a articulação temporomandibular, particularmente o osso temporal, têm apresentado algumas características que nos permitem diferenciar espécimes de homínídeos. Essas mudanças são vistas tanto na superfície externa do osso temporal como na pneumatização do mesmo (Guth, 1978; Santa Luca, 1978, 1980; Vandermeersch, 1985; Hublin, 1988; Dean et al., 1998; Minugh-Purvis et al., 2000; Thompson, 2005; Balzeau A & Radovic J, 2008). Embora a morfologia da articulação temporomandibular e particularmente, do osso temporal tenha sido bem apreciada ao longo da evolução humana, a distribuição das tensões mastigatórias neste osso é apenas parcialmente compreendida, especialmente no que diz respeito às forças incidentes na fossa mandibular.

Entre os possíveis métodos utilizados para avaliar as cargas mecânicas funcionais sobre as estruturas craniofaciais estão o uso de modelos computacionais para a análise de elementos finitos, que permite obter o preciso conhecimento da intensidade e locais de dissipação das cargas aplicadas (Richmond et al, 2005 ; Rayfield , 2007; . Kupczik et al , 2007; Kupczik et al , 2009; Panagiotopoulou de 2009). Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar as tensões mastigatórias na fossa mandibular de diferentes homínídeos.

Material e Métodos

Amostra: Foram utilizados nesse estudo modelos esteriolitográficos (STL) dos espécimes de homínídeos: La Ferrassie 1, Cro-magnon 1 e Homo sapiens sapiens. O espécime La Ferrassie 1, foi descoberto em 1909 no sítio de La Ferrassie na França com idade geológica de 50 a 70 mil anos, e idade de falecimento estimada entre 40 e 55 anos (Trinkaus, 1995). O espécime Cro-magnon 1 foi descoberto em 1868, no Vale Abri Cro-Magnon, Lese Eyzies, França, com idade geológica de 32 mil anos e idade de falecimento menos que 50 anos (Henry-Gambier, 2002). Os modelos La Ferrassie 1 e Cro-magnon 1 foram obtidos junto ao Museu Nacional de História Natural de Paris, enquanto o espécime Homo sapiens sapiens, foi obtido do acervo do laboratório de anatomia da Faculdade de Odontologia de Piracicaba- UNICAMP, e sua idade de falecimento foi estimada entre 40 e 50 anos. Todos os espécimes estudados são do gênero masculino. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Odontologia de Piracicaba (128/2013).

Aquisição da geometria: Os modelos dos espécimes La Ferrassie 1 e Cro magnon 1 foram obtidos em arquivos no formato estereolitográfico (STL). O material do Homo sapiens sapiens foi obtido de imagem de tomografias computadorizadas (TC), realizadas com 0.25mm (paralelo ao plano de Frankfurt), que depois foram usadas para a construção do modelo STL, usando o Software In Vesalius 3.0. A partir disso, todos os arquivos em formato STL foram transferidos para um programa CAD (Rhinoceros 3D 4.0, McNeel & Associates, USA) para obtenção da geometria por modelagem Bio-CAD. Foi construída a geometria da fossa mandibular de cada uma das três espécimes avaliadas. Os côndilos mandibulares dos espécimes La Ferrassie 1 e Cro-magnon 1 foram reconstruídos por meio do processo de engenharia reversa (Sun et al., 2005), baseado nas estruturas preservadas do ramo mandibular e da forma da fossa mandibular, considerando que há harmonização entre a forma do côndilo e da fossa mandibular (Matsumoto et al., 2013). Da mesma maneira foram construídos os discos articulares.

Construção da malha de elementos finitos: todas as geometrias BioCAD foram transferidas ao programa Ansys 1.4 (ANSYS, Inc., USA) para construção dos modelos de elementos finitos, os modelos apresentaram os seguintes arranjos:

- La Ferrassie 1: 1032744 nós e 485259 elementos (figura 1A).
- Cro-magnon 1: 735821 nós e 435166 elementos (figura 1B).
- Homo sapiens sapiens: 1010335 nós e 603202 elementos (figura 1C).

Em todos os modelos os elementos apresentaram geometria tetraédrica.

As propriedades mecânicas das estruturas utilizadas para formar cada modelo estão apresentadas na tabela 1.

Figura 1. Geometrias e malhas de elementos finitos dos espécimes La Ferrassie 1 (A), Cro-magnon 1 (B) e Homo sapiens sapiens (C).

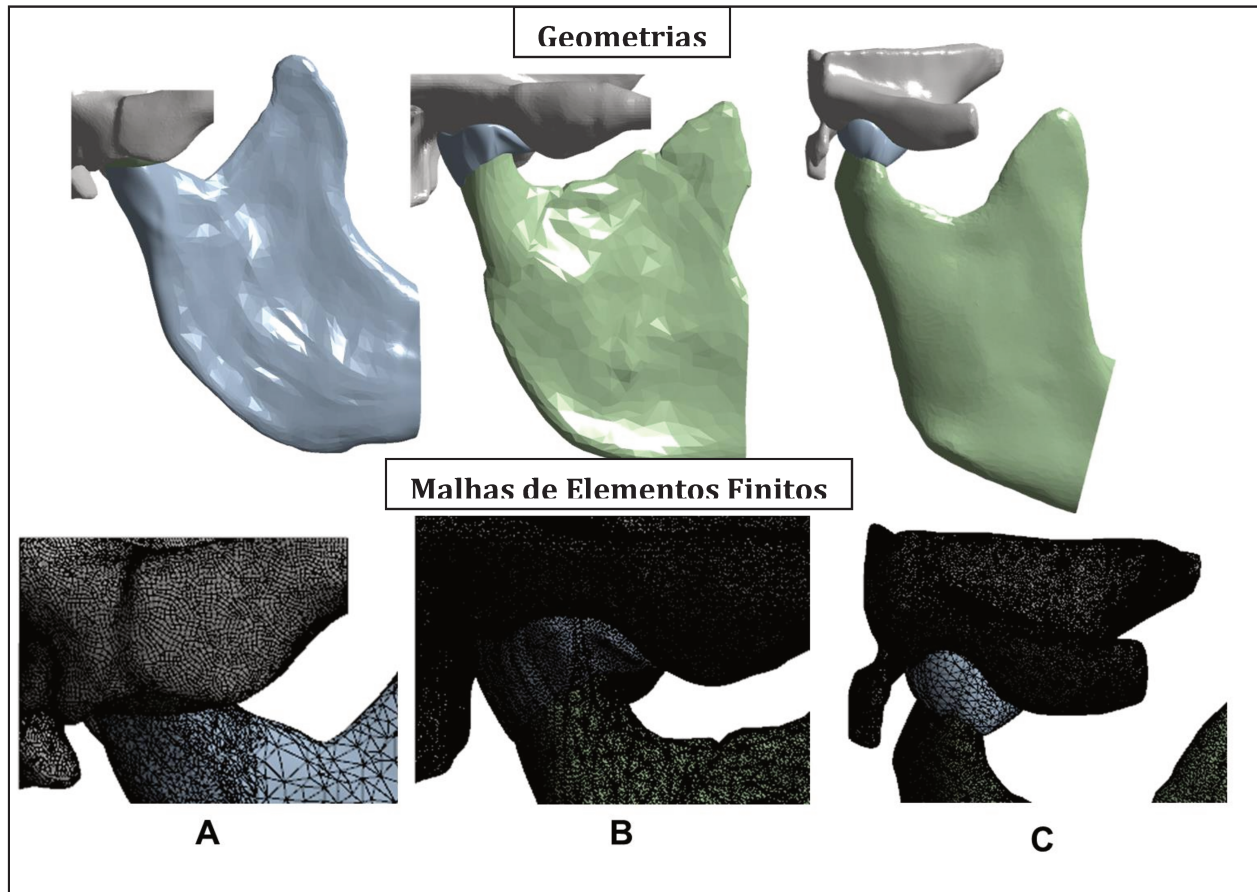


Tabela 1. Propriedades mecânicas das estruturas anatômicas

Estruturas anatômicas	Módulo de Young	Coefficiente de Passion
Osso*	14,000 Mpa	0,3
Disco articular**	44,1Mpa	0,4

(*Wroe et al., 2010; **Tanaka et al., 2001)

Características das simulações para a análise de elementos finitos: Na fossa mandibular de cada espécime avaliada foram aplicadas restrições nos planos superior, posterior e anterior, simulando continuidade da estrutura óssea do crânio; na mandíbula foram aplicadas restrições apenas no plano anterior, simulando a continuidade corpo

mandibular. As restrições foram aplicadas com o objetivo de prevenir movimentos livres nos eixos x, y e z durante as simulações, caracterizando a condição estática (figura 2).

Nos ramos mandibulares dos três espécimes estudados os músculos elevadores da mandíbula (masseter, temporal e pterigoideo medial) foram simulados nas suas respectivas regiões de inserção, com sua força máxima (tabela 2) (figura 2). A direção do vetor e o valor da força máxima foram determinados de acordo com a resultante das fibras musculares.

Tabela 2. Valores de força dos músculos elevadores da mandíbula

Músculos	Força (N)
Masseter (parte superficial)	190,40
Masseter (parte profunda)	81,60
Temporal (fibras anteriores)	158
Temporal (fibras médias)	95,60
Temporal (fibras posteriores)	75,60
Pterigoideo medial	174,80

(Van Essen et al., 2005)

Análises realizadas: Foi calculada e avaliada a tensão de Von Mises para verificar as áreas de maior e menor tensão e a tensão máxima principal, para determinar quais regiões sofreram compressão (valores negativos) e quais sofreram tração (valores positivos). Os valores foram obtidos em Megapascal (Mpa).

Figura 2. Modelo com as ilustrações dos músculos elevadores da mandíbula nas suas respectivas regiões de inserção: Masseter superficial e profundo (setas vermelhas), Temporal - fibras anteriores (setas amarelas), temporal - fibras médias (setas azuis), temporal - fibras posteriores (setas laranjas), pterigoideo medial (setas verdes). As restrições para evitar movimentos dos modelos estão representadas em cruz vermelha.



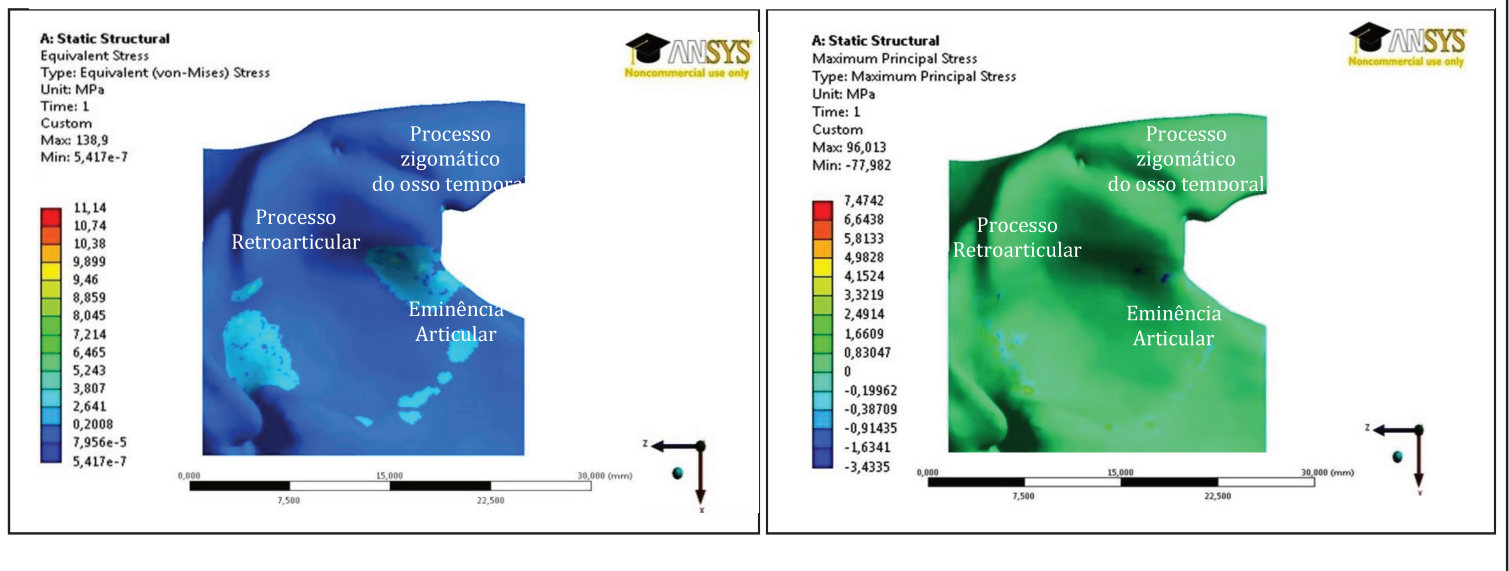
Resultados

La Ferrassie 1:

As análises das tensões de Von Mises nos permite verificar que as tensões ficaram concentradas em pequenas faixas na parede anterior, medial e posterior da fossa mandibular, estando entre um intervalo de 0,20 a 6,46Mpa (figura 3A). As análises da tensão máxima principal mostram que na parede posterior e medial a maioria as tensões são de tração (valores positivos) com pequenas áreas sofrendo tensões de compressão; Já na parede anterior da fossa mandibular as tensões são de compressão, com pequenas áreas sofrendo tensão de tração (figura 3B).

Figura 3A: Tensão de Von Mises na vista inferior da fossa mandibular do espécime La Ferrassie 1.

Figura 3B: Tensão máxima principal na vista inferior da fossa mandibular do espécime La Ferrassie 1.



Cro-magnon 1:

Nas análises das tensões de Von Mises as maiores tensões ficaram concentradas nas paredes anterior e lateral da fossa mandibular, estando entre um intervalo de 0,11 a 0,48Mpa e em uma pequena faixa da parede posterior da fossa mandibular em magnitudes

menores (0,11 a 0,16Mpa) (figura 4A); Nas avaliações da tensão máxima principal foi possível verificar que as tensões encontradas na parede anterior e lateral da fossa mandibular são tanto de compressão (valores negativos) como de tração (valores positivos), porém as magnitudes das tensões de tração estão muito próximas à zero. Já as tensões encontradas em uma pequena faixa da parede posterior da fossa mandibular são de tração (figura 4B).

Figura 4A: Tensões de Von Mises na vista inferior da fossa mandibular do espécime Cro-magnon 1.

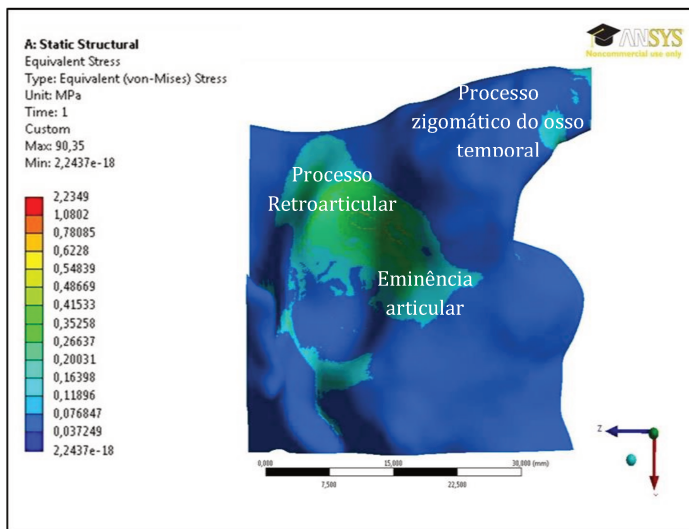
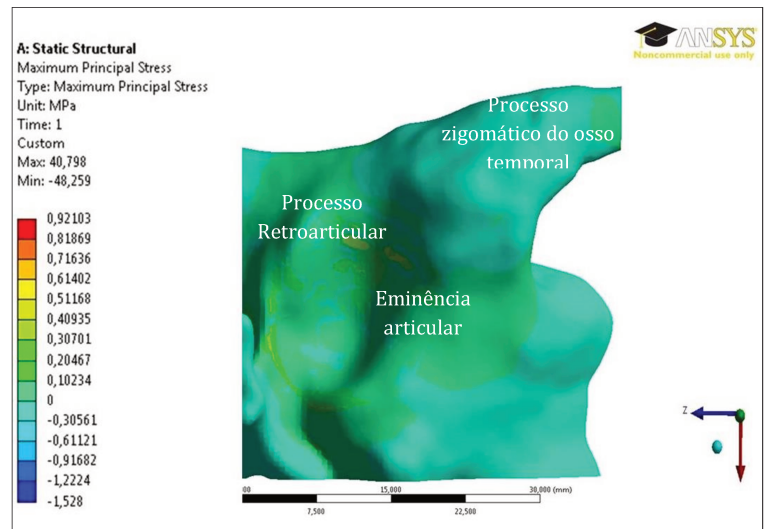


Figura 4B: Tensão máxima principal na vista inferior da fossa mandibular do espécime Cro-Magnon1.



Homo sapiens sapiens:

Nas análises das tensões de Von Mises é possível observar que as tensões se distribuíram por toda a fossa mandibular, porém as de maiores magnitudes (0,19 a 0,72Mpa) se concentraram na parede anterior (figura 5A). Na análise da tensão máxima principal é possível saber que as tensões presentes na parede anterior se caracterizam na sua maioria por compressão (valores negativos), enquanto que as tensões presentes no restante da fossa mandibular são caracterizadas por tração (valores positivos) (figura 5B).

Figura 5A: Tensões de Von Mises na vista inferior da fossa mandibular do espécime Homo sapiens sapiens.

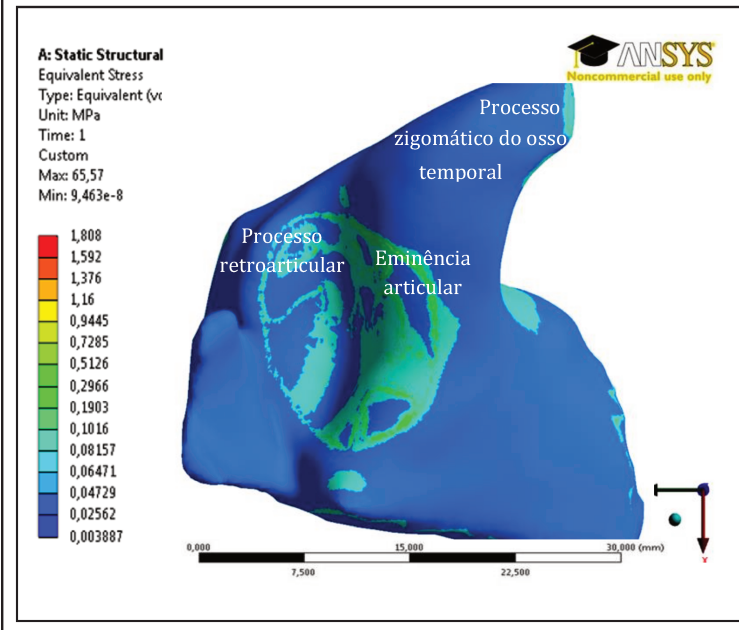
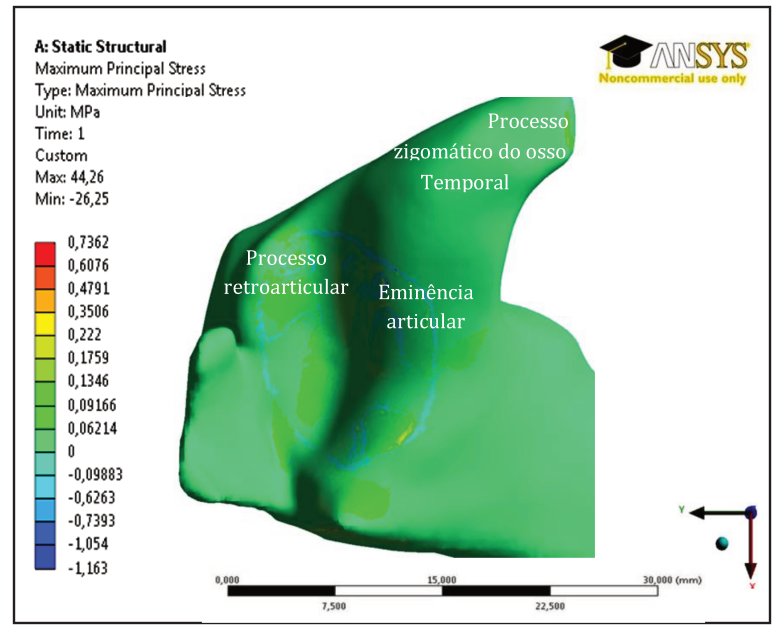


Figura 5B: Tensão máxima principal na vista inferior da fossa mandibular do espécime Homo sapiens sapiens.



Discussão

O osso temporal tem sido estudado com a finalidade de identificar afinidades taxonômicas entres os hominídeos. A fossa mandibular se apresenta como uma estrutura importante para o estudo evolutivo dos seres humanos, por ser uma estrutura submetida a tensões mecânicas decorrentes da atividade mastigatória. Tal aspecto tem sido apontado como um dos principais responsáveis pela remodelação do crânio (Preuschoft et al., 2005). Por essa razão este estudo avaliou a tensão mastigatória na fossa mandibular de três diferentes espécimes de hominídeos (La Ferrasie 1, Cro-Magnon 1 e Homo sapiens sapiens).

As estruturas anatômicas foram assumidas como homogêneas e isotrópicas. As propriedades mecânicas das estruturas que formaram cada modelo podem influenciar os resultados das análises finais, assim, a maior precisão em relação às propriedades dos

materiais proporciona previsões mais precisas da magnitude de tensão-deformação reais (McHenry et al. 2007; Wroe et al. 2010).

Os resultados do presente estudo mostram que a magnitude das tensões incidentes na fossa mandibular, em todos os espécimes estudados, é baixa quando comparada a estudos que analisaram as tensões incidentes no côndilo e disco articular, isto porque provavelmente as maiores tensões ficaram concentradas no disco articular, mostrando que mesmo havendo diferença na morfologia da fossa mandibular desses espécimes, a função de amortecer e redistribuir as tensões mecânicas decorrentes da demanda mastigatória exercida pelo disco articular não se altera.

Tanaka et al, (2001) verificaram por meio da análise de elementos finitos realizada na articulação temporomandibular de hominídeos modernos, que durante os movimentos de abertura e fechamento da boca, as tensões na fossa mandibular foram menos intensas que no côndilo mandibular, indicando que durante a transmissão de força através do disco, a tensão mecânica foi reduzida pela função de amortecimento e redistribuição das tensões exercida pelo disco articular (Chu et al., 1995, Tanaka et al., 2001). Beek et al, (2000) também utilizaram a análise elementos finitos para avaliar a distribuição e a intensidade de tensão no disco articular da articulação temporomandibular de hominídeos modernos e concluíram que houve variação de tensões de 1,12Mpa a 2.79Mpa na zona intermediária do disco; esses resultados reforçam a função do disco articular, uma vez que os valores das tensões incidentes na fossa mandibular são bem menores dos que os encontrados no disco articular.

No presente estudo, as análises das tensões de Von Mises nos permitiu verificar que no espécime La Ferrassie 1 as tensões estavam concentradas em pequenas áreas das paredes antero-medial e posterior da fossa mandibular, e essas chegavam à magnitudes de até 6,46Mpa. No espécime Cro-magnon 1 as áreas tensionadas ficaram menos pontuais e as tensões menos intensas, chegando a atingir no máximo 0,48Mpa. Já no homo sapiens sapiens, as tensões se distribuíram por toda fossa mandibular e suas magnitudes não ultrapassaram 0,72Mpa. A análise da morfologia da fossa mandibular desses espécimes nos permite identificar variações ente elas, como por exemplo, a profundidade da fossa, formato e o surgimento da eminência articular; tais modificações podem ter ocorrido como resposta às demandas funcionais do sistema mastigatório desses espécimes, uma vez que

locais que sofrem tensões mecânicas estão sujeitos às atividades osteoblásticas e osteoclásticas, promovendo aposição ou reabsorção óssea dependendo da característica e intensidade das tensões (Van Eijden, 2000; Li et al., 2006). Observa-se que mudanças na eminência articular, assim como na fossa mandibular, ocorreram em regiões que estavam submetidas às maiores tensões, dessa maneira pode se sugerir que essas modificações ocorreram como um reforço do organismo frente às altas cargas incidentes nessas regiões, como tentativa de diminuir sua fragilidade impedindo o seu colapso, diminuindo a magnitude e melhorando a função.

Mudanças no padrão alimentar também é uma hipótese de que a mudança na função levou a diminuição da atividade dos músculos mastigatórios e conseqüentemente na morfologia do esqueleto crânio-facial, uma vez que os avanços culturais ocorridas nos últimos milhares de anos nos permitiu ingerir alimentos menos rígidos e processados, exigindo menos dos músculos mastigatórios. Porém, estudos comprovam que a força muscular produzida pelos músculos mastigatórios não mudaram ao longo do tempo, e sim sua atividade (Connor et al., 2005; Wroe et al., 2010), ou seja, os músculos mastigatórios dos *homo sapiens sapiens* são capazes de produzir a mesma força mastigatória produzidas pelos espécimes La Ferrassie 1 e Cro-magnon 1, mas devido às características alimentares do *homo sapiens sapiens* o número de ciclo mastigatórios diminuiu (Connor et al., 2005). Dentro deste contexto, neste estudo, os valores de forças musculares aplicados aos modelos foram os mesmo do *Homo sapiens sapiens* a todos os espécimes estudados, apesar do crânio do *homo sapiens* moderno se mostrar menos adaptado a consumir alimentos duros, que necessitam de mastigação sustentada.

Características morfológicas como a profundidade da fossa mandibular, também podem ser justificadas pelas mudanças no padrão alimentar. O espécime La Ferrassie 1 que apresentou fossa mandibular rasa estava mais propício a consumir alimentos rígidos, que exigiam movimentos amplos, já os *homo sapiens sapiens*, que consomem na sua maioria alimentos menos rígidos e processados, realizam movimentos menos amplos, favorecendo o formato mais aprofundado da fossa mandibular.

Em relação às características das tensões, dadas pela análise da tensão máxima principal, observou-se que em todos os espécimes a maior parte das tensões incidentes na parede posterior da fossa mandibular se caracterizaram por tensões de tração, enquanto

que as tensões incidentes nas paredes anterior e lateral se caracterizaram por tensões de compressão. As características dessas tensões podem ser justificadas pela deformação do côndilo articular dentro da fossa mandibular, que durante a ação máxima dos músculos mastigatórios realiza um pequeno deslocamento em virtude da deformação, levando junto com ele o disco articular, e assim, provocando tensões de compressão nas paredes lateral e anterior e tensões de tração na parede posterior da fossa mandibular.

Conclusão

As tensões ficaram menos intensas e ocuparam uma área mais ampla na fossa mandibular dos hominídeos nos últimos 50 mil anos. Os locais com maior incidência de tensões foram os que mais sofreram modificações morfológicas.

Referências

1. Balzeau and Radovicic J. Variation and modalities of growth and development of the temporal bone pneumatization in Neandertals. *J. Hum. Evol.* 2008; 54, 546-567.
2. Beek m, Koolstra JH, Van Ruijven LJ, Van Eijden TMGJ. Three-dimensional finite element analysis of the human temporomandibular joint disc. *Journal of Biomechanics.* 2000; 33: 307-316.
3. Biewener AA. Biomechanics of mammalian terrestrial locomotion. *Science.* 1990; 250: 1097-1103.
4. Chu SA, Suvinen TI, Clement JG, Prio C. Computerized three-dimensional magnetic resonance imaging reconstructions of temporomandibular joints for both a model and patients with temporomandibular pain dysfunction. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995; 80: 604–611
5. Connor CF, Franciscus RG, Holton N. Bite force production capability and efficiency in neandertals and modern humans. *American journal of physical anthropology.* 2005; 127: 129-151.

6. Corruccini RS. How anthropology informs the orthodontic diagnosis of malocclusion's causes. Lewiston: Edwin Meller Press. 1999.
7. Dean D, Hublin JJ, Holloway R, Ziegler R. On the phylogenetic position of the pre-Neandertal specimen from Reilingen, Germany. *J. Hum. Evol.* 1998; 34: 485-508.
8. González-José R, Ramirez-Rozzi F, Sardi M, Martínez-Abadías N, Hernández M, Pucciarelli HM. Functional-cranial approach to the influence of economic strategy on skull morphology. *Am J Phys Anthropol.* 2005; 128: 757-771.
9. Grine FE, Judex S, Daegling D, Ozcivici E, Ungar PS, Teoford MF, Sponheimer M, Scott J, Scott R, Walker A. Craniofacial biomechanic and functional and dietary inferences in hominin paleontology. *Journal of human evolution.* 2010; 293-308.
10. Gupta KK., Knoell AC, Grenoble, DE. Mathematical modeling and structural analysis of the mandible. *Biomat. Med. Dev. Art. Org.* 1973; 469-479.
11. Guth, C., 1978. Contribution des Neanderthaliens de Krapina a la connaissance de la region temporale et plus specialement du tympanal. In: Malez, M. (Ed.), *Krapinski Pra_covjek I Evolvija Hominida.* Jugoslav. Akad. Znan. Umjet, Zagreb, 193-212.
12. Hallgrímsson B, Willmore K, Dorval C, Cooper DM. Craniofacial variability and modularity in macaques and mice. *J Exp Zoolog B Mol Dev Evol.* 2004; 302: 207-225.
13. Harvati K. Quantitative analysis of Neanderthal temporal bone morphology using three-dimensional geometric morphometrics. *Am J Phys Anthropol.* 2003; 120: 323-338.
14. Henry-Gambier D. Les fosiles de Cro-Magnon (Les Eyzies-de-Tavac Dordogne). Nouvelles donnés sur leur positin chronologique et leur attribution culturelle. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris.* 2002; 14 (1-2): 89-112.
15. Hublin JJ. Caractères dérivés de la région occipito mastodienne chez les Néandertaliens. In: Trinkaus, E. (Ed.), *L'Homme de Néandertal 3, l'anatomie,* 30. ERAUL, Liège, 1988; 67-73.
16. Hylander WL, Picq PG, Johnson K. Masticatory-stress hypotheses and the supraorbital region of primates. *Am J Phys Anthropol.* 1991; 86: 1-36.

17. Klingenberg CP, Mebus K, Auffray JC. Developmental integration in a complex morphological structure: how distinct are the modules in the mouse mandible? *Evol Dev.* 2003; 5: 522–531.
18. Kupczik K, Dobson CA, Crompton RH, Phillips R, Oxnard CE, Fagan MJ, O'Higgins P. Masticatory loading and bone adaptation in the supraorbital torus of developing macaques. *Am J Phys Anthropol.* 2009; 139: 193-203.
19. Kupczik K, Dobson CA, Fagan MJ, Crompton RH, Oxnard CE, O'Higgins P. Assessing mechanical function of the zygomatic region in macaques: validation and sensitivity testing of finite element models. *J Anat.* 2007; 210: 41-53.
20. Li J, Li H, Shi L, Fok AS, Ucer C, Devlin H, et al. A Mathematical model for simulating the bone remodeling process under mechanical stimulus. *Dent mater.* 2006; 1025: 1-6.
21. Lieberman DE, Krovitz GE, Yates FW, Devlin M, St Claire M. 2004. Effects of food processing on masticatory strain and craniofacial growth in a retrognathic face. *J Hum Evol* 46: 655 - 677.
22. Lieberman DE, McBratney BM, Krovitz G. The evolution and development of cranial form in *Homo sapiens*. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2002; 99: 1134 - 1139.
23. Lieberman DE. Speculations about the selective basis for modern human craniofacial form. *Evol Anthropol.* 2008; 17:55 - 68.
24. Lockwood CA, Lynch JM, Kimbel WH. Quantifying temporal bone morphology of great apes and humans: an approach using geometric morphometrics. *J. Anat.* 2002; 201: 447-464.
25. Marinescu R, Daegling DJ, Rapoff AJ. Finite-element modeling of the anthropoid mandible: the effects of altered boundary conditions. *Anat. Rec.* 2005; 283A, 300 - 309.
26. Matsumoto K, Kameoka S, Amemiya T, Yamada H, Araki M, Iwai K, Hashimoto K, Honda K. Discrepancy of coronal morphology between mandibular condyle and fossa is related to pathogenesis of anterior disk displacement of the temporomandibular joint. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2013; 9:626–632.

27. Mchenry CR, Wroe S, Clausen PD, Moreno K, Cunningham E. Supermodeled sabercat, predatory behavior in *Smilodon fatalis* revealed by highresolution 3D computer simulation. *Proc Natl Acad Sci.* 2007; 141: 1-6.
28. Minugh-Purvis N, Radovicic J, Smith FH. Krapina 1: a juvenile Neandertal from the early late Pleistocene of Croatia. *Am. J. Phys. Anthropol.* 2000; 111: 393-424.
29. Molnar S and Ward SC. On the hominid masticatory complex: biomechanical and evolutionary perspectives. *J. Hum. Evol.* 1976; 6: 557-568.
30. Panagiotopoulou O. Finite element analysis (FEA): Applying an engineering method to functional morphology in anthropology and human biology. *Annals of Human Biology.* 2009; 36(5): 609-623.
31. Pashetta C, Azevedo S, Castillo L, Martínez-Abadías N, Hernández M, Lieberman D, González-José R. The influence of masticatory loading on craniofacial morphology. A test case a cross technological transitions in the Ohio Valley. *American Journal of Physical Anthropology.* 2010; 141: 297-314.
32. Preuschoft H, Witzel U. Functional shape of the skull in vertebrates: which forces determine skull morphology in lower primates and ancestral synapsids? *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol.* 2005; 283(2):402-413.
33. Rayfield EJ. Finite element analysis and understanding the biomechanics and evolution of living and fossil organisms. *Ann Rev Earth Planet Sci.* 2007; 35: 541-576.
34. Richmond BG, Wright BW, Grosse I, Dechow PC, Ross CF, Spencer MA, Strait DS. Finite element analysis in functional morphology. *Anat Rec.* 2005; 283A: 259-274.
35. Santa Luca, AP. A re-examination of presumed Neanderthal-like fossils. *J. Hum. Evol.* 1978; 619-636.
36. Santa Luca AP. The Ngandong fossil hominids. *Yale University Publications in Anthropology.* 1989; 78, 1-175.
37. Sicher H. *Oral anatomy.* Saint Louis: CV. Mosby; 1965; 82.
38. Standlee JP, Caputo AA: *Biomechanics in Clinical Dentistry.* Chicago, Quintessence, 1987; 29.

39. Strait DS, Richmond BG, Spencer MA, Ross CF, Dechow PC, Wood BA. Masticatory biomechanics and its relevance to early hominid phylogeny: an examination of palatal thickness using finite-element analysis. *J. Hum. Evol.* 2007a; 52: 585 - 599.
40. Sun W, Starly B, Nam J, Darling A. Bio-CAD modeling and its applications in computer-aided tissue engineering. *Computer aided design.* 2005; 37: 1097-1114.
41. Tanaka E, Rodrigo P, Tanaka M, Kawaguchi A, Shibasaki T, Tanne K. Stress analysis in the TMJ during jaw opening by use of a three-dimensional finite element model based on magnetic resonance images. *J. Oral Maxillofac Surg.* 2001; 30: 421-430.
42. Terhune CE. Dietary correlates of temporomandibular joint morphology in New World Primates. *J. Hum. Evol.* 2011; 61: 583-596.
43. Terhune CE, Kimbel WH, Lockwood CA. Variation and diversity in *Homo erectus*: a 3D geometric morphometric analysis of the temporal bone. *J. Hum. Evol.* 2007; 53: 41-60.
44. Thompson JL. Le Moustier 1 and its place among the Neandertals. In: Ullrich, H. (Ed.), *The Neandertal Adolescent Le Moustier 1. New Aspects, New Results.* Staatliche Museen zu Berlin e Preubischer Kulturbesitz, Berlin. 2005; 311-320.
45. Trinkaus E. Neandertal mortality patterns. *Journal of archaeological science.* 1995; 22: 121-142.
46. Van Eijden TM. Biomechanics of the mandible. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2000; 11(1):123-36.
47. Van Essen NL, Anderson IA, Hunter PJ, Carman J, Clarke RD, Pullan AJ. Anatomically based modelling of the human skull and jaw. *Cells Tissues Organs.* 2005; 180(1): 44-53.
48. Vandermeersch B. The origin of the Neanderthals. In: Delson, E. (Ed.), *Ancestors: the Hard Evidence.* Alan R. Liss, New York. 1985; 306-309.
49. Vinyard CJ, Wall, CE, Williams SH, Hylander WL. Comparative functional analysis of skull morphology of tree-gouging primates. *Am. J. Phys. Anthropol.* 2003; 120 - 170.
50. Wroe S, Ferrara TL, McHenry CR, Curnoe D, Chamoli U. The craniomandibular mechanics of being human. *Proc Biol Sci.* 2010; 277 (1700): 3579-3586.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

- As evidências encontradas na revisão sistemática mostraram que a relação entre disfunções temporomandibulares e postura de cabeça e pescoço ainda é controversa, e o número insuficiente de artigos considerados de excelente qualidade metodológica é um fator que dificulta a aceitação ou negação desta associação;
- As análises de elementos finitos nos permitiram verificar que as tensões ficaram menos intensas e ocuparam uma área mais ampla na fossa mandibular dos homínídeos estudados;
- Os locais com maior incidência de tensões foram os que mais sofreram modificações morfológicas.

REFERÊNCIAS*

1. Alomar X, Medrano J, Cabratosa J, et al. Anatomy of the temporomandibular joint. *Semin Ultrasound CT MR*. 2007;28(3):170-83.
2. Bonjardim LR, Gavião MB, Pereira LJ, Castelo PM. Anxiety and depression in adolescents and their relationship with signs and symptoms of temporomandibular disorders. *Int J Prosthodont*. 2005; 18: 347-353.
3. Boryor, A, et al. In vitro results of rapid maxillary expansion on adults compared with finite element simulations. *Journal of Biomechanics*. In Press. 2010.
4. Clausen PD, Wroe S, McHenry CR, Moreno K, Bourke J. The vector of jaw muscle force as determined by computer generated three dimensional simulation: A test of Greaves" model. *J Biomech*. 2008; 41: 3184-88.
5. De Wijer A, Steenks MH, Bosman F, Helders PJ, Faber J. Symptoms of the stomatognathic system in temporomandibular and cervical spine disorders. *J Oral Rehabil*. 1996; 23:733-741.
6. Farke A. Evolution and function of the supracranial sinuses in ceratopsid dinosaurs and the frontal sinuses in bovid mammals. *J Vertebr Paleontol*. 2008; 28 (Suppl 3): 76.
7. Hylander WL, Crompton AW. Loading patterns and jaw movements during the masticatory power stroke in macaques. *Am. J. Phys. Anthropol*. 1980; 52, 239.
8. Ingawale S, Goswami T. Temporomandibular joint: disorders, treatments, and biomechanics. *Ann Biomed Eng*. 2009;37(5):976-96.
9. Katada H, Arakawa T, Ichimura K, Sueishi K, Sameshima, GT. Stress Distribution in Mandible and temporomandibular Joint by mandibular distraction: A 3-Dimensional Finite-element analysis. *Bull Tokyo Dent Coll*. 2009; 50(4): 161-168.
10. Kitsoulis P, Marini A, Iliou K, et al. Signs and symptoms of temporomandibular joint disorders related to the degree of mouth opening and hearing loss. *BMC Ear Nose Throat Disord*. 2011;11:5.
11. Kupczik K, Dobson CA, Fagan MJ, Crompton RH, Oxnard CE, O'higgins P (2007) Assessing mechanical function of the zygomatic region in macaques: validation and sensitivity testing of finite element models. *J Anat*. 2007; 210: 41-53.

12. Makofsky HW. The influence of forward head posture on dental occlusion. *Cranio*. 2000; 18: 30–39.
13. Matheus RA, Ramos-Perez FM, Menezes AV, Ambrosano GMB, Neto FH, Boscolo FN et al. The relationship between temporomandibular dysfunction and head and cervical posture. *J Appl Oral Sci*. 2009; 17:204–208.
14. Moreno K, Wroe S, Clausen P, McHenry C, D'Amore DC, Rayfield EJ, et al. Cranial performance in the Komodo dragon (*Varanus komodoensis*) as revealed by high-resolution 3-D finite element analysis. *J Anat*. 2008; 212: 736-46.
15. Nicolakis P, Nicolakis M, Piehslinger E, Ebenbichler G, Vachuda M, Kirtley C et al. Relationship between craniomandibular disorders and poor posture. *Cranio*. 2000; 18: 106–112.
16. Okeson JP. The classification of orofacial pains. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*. 2008; 20: 133-144.
17. Rayfield E, Milner AC. Establishing a framework for archosaur cranial mechanics. *Paleobiology*. 2008; 34: 494-15.
18. Richmond et al. Finite Element Analysis in Functional Morphology. *The Anatomical Record Part A*. 2005; 283A, 259-274.
19. Sonnesen L, Bakke M, Solow B. Temporomandibular disorders in relation to craniofacial dimensions, head posture and bite force in children selected for orthodontic treatment. *Eur J Orthod*. 2001; 23:179–192.
20. Vinyard CJ, Wall CE, Williams SH, Hylander WL. Comparative functional analysis of skull morphology of tree-gouging primates. *Am. J. Phys. Anthropol*. 2003; 120: 153-170.
21. Visscher CM, Lobbezoo F, de Boer W, van der Zaag J, Naeije M. Prevalence of cervical spinal pain in craniomandibular pain patients. *Eur J Oral Sci*. 2001; 109:76–80.
22. Wroe S, Moreno K, Clausen P, McHenry CR, Curnoe D. High-resolution computer simulation of hominid cranial mechanics. *Anat Rec*. 2007; 290: 1248-55.

*De acordo com a norma da UNICAMP/FOP, baseadas na norma do International Committee of Medical Journal Editors – Grupo de Vancouver. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o Medline.

Anexo 1

E-mail de aceite do artigo (capítulo 1 da tese) para publicação:

psvensson@odont.au.dk

Para Camila, JOORedoffice@wiley.com

8 Set 2013

08-Sep-2013

Dear Ms. Camila Rocha,

I am very happy to inform you that your manuscript entitled: "Is there relationship between temporomandibular disorders and head and cervical posture? A systematic review" has now been accepted for publication in the Journal of Oral Rehabilitation.

Thank you for submitting your work to the journal.

Best wishes from JOR!

Peter Svensson

Editor in Chief

Journal of Oral Rehabilitation

<http://mc.manuscriptcentral.com/jor>

Anexo 2



COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS



CERTIFICADO

O Comitê de Ética em Pesquisa da FOP-UNICAMP certifica que o projeto de pesquisa "**Avaliação da tensão mastigatória na fossa mandibular de diferentes hominídeos**", protocolo nº 128/2013, dos pesquisadores Camila Pinhata Rocha e Paulo Henrique Ferreira Caria, satisfaz as exigências do Conselho Nacional de Saúde - Ministério da Saúde para as pesquisas em seres humanos e foi aprovado por este comitê em 12/12/2013.

The Ethics Committee in Research of the School of Dentistry of Piracicaba - State University of Campinas, certify that the project "**Evaluation of Masticatory Stress in the Mandibular Fossa of Several Hominids**", register number 128/2013, of Camila Pinhata Rocha and Paulo Henrique Ferreira Caria, comply with the recommendations of the National Health Council - Ministry of Health of Brazil for research in human subjects and therefore was approved by this committee at 12/12/2013.

Prof. Dr. Felipe Bevilacqua Prado
Secretário
CEP/FOP/UNICAMP

Profa. Dra. Lívia Maria Andaló Tenuta
Coordenadora
CEP/FOP/UNICAMP

Nota: O título do protocolo aparece como fornecido pelos pesquisadores, sem qualquer edição.
Notice: The title of the project appears as provided by the authors, without editing.

