



# 运动护齿的研究进展

王悦<sup>1</sup> 闫鹏宇<sup>2</sup> 刘艳丽<sup>1</sup> 张旻<sup>1\*</sup>

作者单位：<sup>1</sup>军事口腔医学国家重点实验室，国家口腔疾病临床医学研究中心，陕西省口腔疾病国际联合研究中心，中国人民解放军空军军医大学第三附属医院急诊与综合临床科；<sup>2</sup>北部战区空军医院口腔科

\*通讯作者：张旻，联系方式：029-84776490，电子邮箱：cherryzhangmin@126.com，通讯地址：陕西省西安市新城区长乐西路145号，710032

**【摘要】** 随着运动护齿的研究不断深入，目前有3种不同类型的运动护齿。为提升运动护齿的防护效果，研究者不断改进制作材料和设计，加强运动护齿的使用、维护。近年来，医师在运动护齿的防护中的作用也得到重视。本文将介绍国内外运动护齿的研究现状，对运动护齿的类型、防护机制及防护效果、制作流程、维护方法以及医师参与度等问题进行梳理总结，以期为口腔医师设计、制作、维护运动护齿以及相关领域的研究提供参考。

**【关键词】** 运动护齿；分类；制造工艺；维护；参与度

## Progress in Sports Mouthguard Research

Yue Wang<sup>1</sup>, Pengyu Yan<sup>2</sup>, Yanli Liu<sup>1</sup>, Min Zhang<sup>1\*</sup>. (<sup>1</sup>State Key Laboratory of Military Stomatology & National Clinical Research Center for Oral Diseases & Shaanxi International Joint Research Center for Oral Diseases, Department of General Dentistry & Emergency, School of Stomatology, The Fourth Military Medical University, Xi'an, Shanxi Province, P.R.China; <sup>2</sup>North Area Air Force Hospital of PLA, Shenyang, Liaoning Province, P.R.China.) Correspondence: Min Zhang. Tel: 029-84776490. E-mail: cherryzhangmin@126.com, Address: No. 145 Changle West Road, Xincheng District, Xi'an 710032, Shaanxi Province, P.R.China.

**【Abstracts】** With the deepening of the research on sports mouthguard, there are currently three different types of sports mouthguard classification. In order to improve the protective effect of sports mouthguard, researchers have continuously improved the manufacturing materials and design, and strengthened the use and maintenance of sports mouthguard. In recent years, the role of doctors in the protection of sports mouthguard has also been paid attention to. This study introduces the research status of sports mouthguard at home and abroad, and summarizes the types, protection mechanisms and effects, manufacturing technologies maintenance methods and stomatologists participation of sports mouthguards, in order to provide references for stomatologists in the design, production, maintenance and corresponding research of sports mouthguards.

**【Key words】** sports mouthguard; classification; technology; maintenance; participation

## 1 引言

1890年英国口腔医师Krauze提出护齿器(mouthguard)的概念,130余年来运动护齿(sports mouthguard)已经有了长足的发展。运动护齿是一种覆盖牙齿和牙龈,能有效避免或减少口腔软硬组织的损伤,用于口腔颌面部的防护器具。美

国材料试验学会(American Society for Testing and Materials, ASTM)将运动护齿定义为一种可靠的、用于口腔颌面部的弹性防护器具<sup>[1]</sup>。目前,在美式足球、拳击、橄榄球等项目中,运动护齿是被强制要求佩戴的保护装置。美国运动齿科学会甚至列举了29种推荐佩戴运动护齿的运动项目,其中包括有身体对抗的运动项目(如橄榄球、足球、曲棍球

DOI: 10.12337/zgkqxjyzz.2023.05.002

基金项目:国家口腔疾病临床医学研究中心专项课题(项目编号:LCA202007);空军军医大学第三附属医院新技术新业务重点项目(项目编号:LX2021-203)

Supported by: Special Project of the National Center for Clinical Medical Research of Oral Diseases (No. LCA202007); Key Project of New Technology and Business at the Third Affiliated Hospital of Air Force Military Medical University (No. LX2021-203)

等), 也包括打击类的运动项目(如拳击、空手道、散打等)<sup>[2]</sup>。

运动护齿对于口腔颌面部的保护作用已得到广泛认可和证明。然而也有报道指出, 只有在恰当佩戴运动护齿的情况下, 才能使其发挥作用<sup>[3]</sup>。除此之外, 运动护齿的标准化制作、正确的使用和定期维护也至关重要。

## 2 运动护齿的类型

2003年, 澳大利亚国家标准(Standards Australia International, SAI)将运动护齿分为成品运动护齿、口内成形运动护齿和个性化运动护齿, 该经典分类一直沿用至今。随着个性化运动护齿的不断改进和发展, 根据覆盖上下颌的不同又可分为单颌覆盖运动护齿和双颌覆盖运动护齿。

不同类型的运动护齿各有优缺点。其中, 成品运动护齿最简单, 可直接从市面获得且价格低廉, 但其固位力差, 佩戴不舒适, 容易影响呼吸与发音, 且防护效果差。个性化运动护齿需要专业的口腔医师制作, 流程较繁琐, 耗时长, 费用高, 但其具有固位力良好、佩戴舒适、不影响发音与呼吸等优点, 且研究证明个性化运动护齿的防护作用也是最有效。口内成形(半成品)运动护齿可从市面获得, 使用者自己口内塑型, 性能介于成品运动护齿和个性化运动护齿之间, 但其防护作用有限。

目前, 个性化运动护齿因其出色的固位力、保护性和舒适性被认为是运动护齿的金标准<sup>[4]</sup>。且Ferreira的系统综述指出, 个性化运动护齿不会干扰运动员的运动表现<sup>[5]</sup>。

除了传统的保护型运动护齿, 一些具有附加功能的新型智能运动护齿也不断被开发报道。例如, 有研究者开发了一种运动护齿, 即在运动护齿上安装葡萄糖传感器, 以监测唾液中的葡萄糖。由于唾液中的葡萄糖反映了自身血糖水平, 该运动护齿为糖尿病患者的无创监测提供了一种更为舒适便捷的途径<sup>[6]</sup>。由于上牙列和颅骨之间的刚性耦合, 一些公司和机构开发了一类仪器化的运动护齿。此类运动护齿可用于测量头部撞击运动学中相关数据, 同时可以帮助理解脑震荡的潜在生物力学<sup>[7,8]</sup>。

## 3 运动护齿的防护机制及防护效果

关于运动护齿的防护机制, Chapman的研究提出以下三个分类: I类防护作用是当颌面部遭受撞击时, 运动护齿的材料性能(如厚度、弹性等)

可起到吸收缓冲冲击力的作用; II类防护作用是运动护齿可将牙列连接成一个整体, 使得局部冲击力可在牙列上分散, 从而降低局部损伤风险; III类防护作用是咬合稳定的运动护齿、将上、下颌牙列分开, 将髁突与关节盘分离, 提供缓冲间隙的同时形成稳固的支撑, 将冲击力在颌间分散<sup>[9]</sup>。目前被广泛接受的观点是: 运动护齿本身能吸收部分能量, 同时通过连接牙列, 稳定咬合, 均匀地分散能量, 从而避免或减轻颌面部软硬组织的损伤<sup>[3,10]</sup>。

关于运动护齿的防护效果, 研究者们也进行了广泛探索。Knapik等对运动护齿相关的应用研究进行了Meta分析, 结果显示运动护齿可显著预防颌面部损伤。该研究指出, 参与不同运动的运动员没有佩戴运动护齿时, 颌面部损伤的总体风险是佩戴者的两倍多<sup>[11]</sup>。

一项关于冰雪运动的研究表明, 在冰雪运动中佩戴和未佩戴运动护齿, 对牙外伤发生的临床分类、发生率和严重程度有不同影响。未佩戴运动护齿者发生的牙外伤位置, 除了中切牙居多, 还会发生在侧切牙、尖牙和第一前磨牙, 而临床分类以牙撕脱性损伤(失牙)比例最高, 其次可见复杂冠折、复杂冠根折、半脱位等严重程度较重的损伤; 而佩戴运动护齿后, 患者牙外伤牙位仅发生于中切牙和侧切牙, 同时临床分类也以简单冠折、牙齿震荡、半脱位为主, 外伤分类严重程度较未佩戴运动护齿者明显减轻, 同时未见失牙损伤发生<sup>[12]</sup>。

另一项关于曲棍球比赛的研究表明, 佩戴运动护齿后, 运动员受伤的次数和严重程度都有所降低<sup>[13]</sup>。Saito的研究表明, 运动护齿不仅可以防止佩戴者的口颌系统的创伤, 而且对防止皮肤损伤也很有用, 且厚度越厚, 对皮肤的损害就越小<sup>[14]</sup>。

同时, 一篇关于运动护齿与脑震荡之间关系的文章指出, 在练习中不使用运动护齿比使用运动护齿发生脑震荡的概率更高, 运动护齿的使用与脑震荡的发生率之间存在显著的负相关关系<sup>[15]</sup>。

Nam等关于佩戴个性化运动护齿对职业篮球运动员身体调整和平衡性能的影响研究表明, 佩戴运动护齿可以提高运动员的平衡能力<sup>[16]</sup>。Schultz等的研究表明, 佩戴个性化运动护齿可以提高运动性能, 如增加气道容积、垂直跳跃能力和短跑能力<sup>[17]</sup>。另有研究表明, 佩戴运动护齿有加强头颈部肌肉、增强腿部力量和力量动能的效果<sup>[18]</sup>。就目前的研究而言, 运动护齿的正向防护效果是毋庸置疑的。

但对于运动护齿的使用损耗是否会导致防护效果的降低这方面的研究则很少。Hayashi 等关于曲棍球运动员使用两年后，运动护齿的厚度变化和变形的研究发现，所有测量区的运动护齿厚度在使用2年后均有显著下降，特别是切牙区和磨牙咬合区的厚度明显减少，而厚度的减少会导致运动护齿的减震能力的下降<sup>[19]</sup>。这也为运动护齿的维护、更换提供了依据。

## 4 运动护齿的制作

多年来，随着研究的深入和技术的发展，运动护齿的制作也在不断发生着变化。

### 4.1 运动护齿的材料选择

理想的运动护齿材料需具备优秀的减震能力，即在短时间内吸收大量冲击能量的同时，又具有一定程度的刚性以维持其形态不轻易改变。一些研究者对运动护齿材料的抗拉强度、撕裂强度和吸水性进行了研究。其中抗拉强度与撕裂强度在一定程度上反映了运动护齿的耐久性，而吸水性则反映了运动护齿包藏细菌及其代谢物的可能性<sup>[20]</sup>。

橡胶性质的材料在物理性能上更符合要求，因此曾用于运动护齿的材料包括：乙烯醋酸乙烯酯共聚物(ethylene vinyl acetate, EVA)、聚氯乙烯、乳胶、丙烯酸树脂和聚氨酯。EVA 由于其优越的物理特性及易加工特性，目前被广泛地应用在运动护齿的制作当中<sup>[21]</sup>。到目前为止，研究者们一直致力于向EVA材料添加填料、为聚合物添加官能团改性的研究与探索。有研究指出，与EVA相比，聚烯烃具有令人满意的物理性能，如较低的吸水率和更好的粘接强度。同时它也具有类似于乙烯醋酸乙烯酯的高减震能力<sup>[21]</sup>，有望进一步提高运动护齿的性能。

### 4.2 运动护齿的优化设计

运动护齿的设计须允许最大限度地防止来自坚硬的、小体积的物体(如棒球)以及柔软的、大体积的物体(如拳击手套)所带来的伤害。自上世纪70年代开始，研究者对运动护齿发挥减震/冲击吸收性能所需要的厚度进行了一系列研究。有研究发现当EVA膜片的厚度达到4mm左右时能发挥最佳保护性能<sup>[22]</sup>。运动护齿咬合面的厚度设计为2mm，主要是考虑舒适度和对呼吸的影响，厚度应小；厚度过大甚至可能导致关节、肌肉出现病理改变。

GREEN 等通过对以往研究的总结，进一步

综合舒适性与保护性能，提出运动护齿的制作标准：①运动护齿应当覆盖上颌牙齿第二磨牙远中；②唇侧厚度应当达到3mm，咬合面应当达到2mm，腭侧应当达到1mm；③唇侧边缘应当拓展到黏膜反折线内2mm；④腭侧边缘应当延伸至龈缘上10mm；⑤唇侧边缘应当圆钝，腭侧边缘逐渐变薄<sup>[23,24]</sup>。

### 4.3 运动护齿的制造工艺

运动护齿的制造及咬合成型技术目前常用的是真空压塑和压力成型。真空压塑由于成本低且制造简单而更为常用，但由于受热和真空不均匀，该方式可能造成运动护齿厚度不均匀。相对而言，压力成型则可制作出厚度更加均匀、贴合度更高的运动护齿。目前，随着数字化工艺的不断发展，计算机辅助设计、三维图形(three-dimensional, 3D)打印技术制作的运动护齿可能在厚度、密合度、舒适性、保护力等方面更加优越，或将逐步代替传统制造工艺。

综上所述，理想的运动护齿应具备以下要求：即兼顾弹性减震和刚性保护，具备普适性以及佩戴舒适性。

## 5 运动护齿的使用和维护

美国牙科协会指出，只有在恰当佩戴运动护齿的情况下，才能使其发挥作用。因此，口腔医师应该知道如何指导佩戴者选择、使用和维护运动护齿<sup>[25]</sup>。让佩戴者了解并正确使用、维护运动护齿是口腔医师治疗过程中不可缺少的一步。

无论佩戴哪种类型的运动护齿，口腔卫生都是一个不可忽视的问题。有报道指出，运动护齿中存在的微生物可能会导致龋病的发生。佩戴运动护齿会改变患者的口内生态环境，如降低唾液的缓冲能力、改变唾液pH值以及菌斑的数量等。严格的口腔卫生维护是佩戴运动护齿的前提。每天使用含氟牙膏刷牙两次，正确使用牙线以及减少致龋性食物摄入是每位佩戴者必须了解并严格执行的内容。对于运动护齿，佩戴者需每天使用水、牙膏或气泡药片等对其做清洁，用化学和机械方式清除食物和细菌。

作为口腔医师应鼓励佩戴者定期复诊，以对运动护齿进行专业的清洁、维护、使用评估以及更换建议等。

首先，超声波清洁剂可用于运动护齿的清理，

过氧化物、次氯酸盐或酸类可作为添加剂使用<sup>[26]</sup>。氯己定、氟化物和酪蛋白等也可用于治疗因佩戴运动护齿而导致的口腔疾病。其中，氯己定可减少牙龈炎患者的炎症和肿胀，但可能会造成牙齿染色，因此不建议长期使用<sup>[27]</sup>。氟化物有抗龋特性，可用于患龋高危患者<sup>[28]</sup>。酪蛋白是一种常用的乳制品蛋白，局部应用时，可能会增加唾液pH值、刺激唾液的分泌从而增加唾液缓冲能力<sup>[29]</sup>。

其次，使用评估让医师和佩戴者了解运动护齿的使用状态，以利于医师定期调整护齿的佩戴和维护。过度磨损、破损和适配性差等可以导致运动护齿的保护功能下降或丧失，则需更换新的运动护齿。

除此之外，对于青少年佩戴者，因其处于生长发育阶段，运动护齿的制作和更换需视其发育情况而调整。Chapman的研究中建议，开始佩戴运动护齿的年龄是16岁左右，此时下颌骨和上颌骨的生长发育基本完成，除第三磨牙外，恒牙通常已经完全萌出。在16岁之前，任何形式的运动护齿可能只能佩戴一个赛季。而在16岁之后，如果维护得当，运动护齿应该能佩戴2~3年<sup>[30]</sup>。

## 6 口腔医师参与运动护齿防护的意义及必要性

虽然口腔医师参与运动护齿的防护，并不能完全避免佩戴者在运动中受损伤，提高运动员、家属、运动教练等人员对佩戴运动护齿的认识，可能会减少口腔颌面部损伤的发生率、减轻损伤的严重程度。随着运动护齿研究的不断深入，研究者们已经逐渐意识到口腔医师参与的重要性。Gallagher就在文章中提出运动牙医的理念，建议口腔医师积极参与到各类有颌面部损伤风险的运动防护中<sup>[31]</sup>。

首先，口腔医师可告知运动员其运动可能导致的特有的损伤，如牙齿折断、脱位、撕脱甚至颌面部损伤等。这些损伤不仅可能影响功能，甚至会导致美学缺陷和心理并发症。同时告知他们损伤可能带来的治疗费用远高于制作运动护齿的费用，提前的风险预警能够鼓励运动员积极佩戴运动护齿。

其次，运动护齿制作完成后，口腔医师应积极鼓励运动员正确的佩戴和维护。在适应期间，提

前告知佩戴过程中可能出现的不适或问题，从而减少佩戴者因佩戴不适而认为运动护齿有问题而放弃使用，佩戴者的坚持是至关重要的。特别是在在不强制佩戴运动护齿的情况下，医师的建议就显得格外重要。

再次，口腔医师应告知运动员佩戴运动护齿的潜意识优势，通过不担心潜在的损伤，他们能够更加全身心的投入比赛，发挥所长。

佩戴运动护齿可以有效降低运动中颌面部软硬组织损伤的发生率。口腔医师的积极科普将使运动员及相关参与者改变观念，接受运动护齿。

## 7 展望

运动护齿是可靠的护具，但在我国运动员及民众中的普及率不太高，而保护性能及舒适性最佳的个性化运动护齿更是鲜有问津。究其原因：①制作过程繁琐、成本高昂及国内没有标准化的制作指南等；②口腔医师的参与度不够；③归因于运动护齿的社会认知度不够。因此，简化运动护齿的制作工艺；探索性能优良、价格实惠的护齿材料；出台标准化的指南规范；推行运动牙医的理念等是普及运动护齿的关键。

随着学科交叉、融合的推进，数字化技术在口腔领域的应用愈加广泛。利用3D打印材料及3D打印技术制作精确度高、厚度稳定且能提供有效保护的个性化运动护齿。口腔医师应该发挥专业优势，主动参与运动护齿的制作、推广及科普工作，不断提高社会对运动护齿的认知和接纳度。

## 8 结论

运动护齿是预防口腔颌面部软硬组织损伤的有效护具。随着材料、设计以及制造工艺的不断地改进和发展，兼顾防护效果和舒适性的个性化运动护齿也逐渐走入大众视野。目前其在国内普及率不高，个性化运动护齿的使用、维护等问题也亟需被大众知晓。目前口腔医师在此过程中的作用十分有限，随着对运动护齿不断深入的研究及普及，这些问题也将被重视和解决，相信未来个性化运动护齿将得到推广及使用。

## 参考文献

[1] Gould TE, Piland SG, Shin J, et al. Characterization of mouthguard materials: thermal properties of commercialized products[J]. Dent Mater. 2009;

25(12):1593-1602.

[2] For the dental patient. The importance of using mouthguards. Tips for keeping your smile safe[J]. J Am

- Dent Assoc. 2004; 135(7):1061.
- [3] Sliwkanich L, Ouanounou A. Mouthguards in dentistry: Current recommendations for dentists[J]. Dent Traumatol. 2021; 37(5):661-671.
- [4] Knapik JJ, Hoedebecke BL, Rogers GG, et al. Effectiveness of Mouthguards for the Prevention of Orofacial Injuries and Concussions in Sports: Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Sports Med. 2019; 49(8):1217-1232.
- [5] Ferreira GB, Guimaraes LS, Fernandes CP, et al. Is there enough evidence that mouthguards do not affect athletic performance? A systematic literature review[J]. Int Dent J. 2019; 69(1):25-34.
- [6] Arakawa T, Tomoto K, Nitta H, et al. A Wearable Cellulose Acetate-Coated Mouthguard Biosensor for In Vivo Salivary Glucose Measurement[J]. Anal Chem. 2020; 92(18):12201-12207.
- [7] Liu Y, Domel AG, Yousefsani SA, et al. Validation and Comparison of Instrumented Mouthguards for Measuring Head Kinematics and Assessing Brain Deformation in Football Impacts[J]. Annals of Biomedical Engineering. 2020; 48(11):2580-2598.
- [8] Bridgman H, Kwong MT, Bergmann JHM. Mechanical Safety of Embedded Electronics for In-body Wearables: A Smart Mouthguard Study[J]. Ann Biomed Eng. 2019; 47(8):1725-1737.
- [9] Chapman PJ. The pattern of use of mouthguards in rugby league (a study of the 1986 Australian Rugby League touring team)[J]. Br J Sports Med. 1988; 22(3):98-100.
- [10] Bergman L, Milardović Ortolan S, Žarković D, et al. Prevalence of dental trauma and use of mouthguards in professional handball players[J]. Dent Traumatol. 2017;33(3):199-204.
- [11] Knapik JJ, Hoedebecke BL, Rogers GG, et al. Effectiveness of Mouthguards for the Prevention of Orofacial Injuries and Concussions in Sports: Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Sports Med. 2019; 49(8):1217-1232.
- [12] 王欣, 薛芄. 运动护齿器对冰雪运动所致牙齿外伤的防护效果 [J]. 科技导报, 2022, 40(02):101-106.
- [13] Cicek T, Dharmo B, Wolvius EB, et al. Effectiveness of the new mandatory mouthguard use and orodental injuries in Dutch field hockey[J]. Phys Sportsmed. 2021; 49(4):455-462.
- [14] Saito M, Nakajima K, Tsutsui A, et al. Effects of Mouthguards on Skin Damage In Vitro Study[J]. Eur J Dent, 2022 Oct 28. doi: 10.1055/s-0042-1756474. Online ahead of print.
- [15] Ono Y, Tanaka Y, Sako K, et al. Association between Sports-Related Concussion and Mouthguard Use among College Sports Players: A Case-Control Study Based on Propensity Score Matching[J]. Int J Environ Res Public Health. 2020 22; 17(12):4493.
- [16] Nam HJ, Lee JH, Hong DS, et al. The Effect of Wearing a Customized Mouthguard on Body Alignment and Balance Performance in Professional Basketball Players[J]. Int J Environ Res Public Health. 2020; 17(17):6431.
- [17] Schultz Martins R, Girouard P, Elliott E, et al. Physiological Responses of a Jaw-Repositioning Custom-Made Mouthguard on Airway and Their Effects on Athletic Performance[J]. J Strength Cond Res. 2020; 34(2):422-429.
- [18] Buscà B, Morales J, Solana-Tramunt M, et al. Effects of jaw clenching while wearing a customized bite-aligning mouthpiece on strength in healthy young men[J]. J Strength Cond Res. 2016; 30(4):1102-1110.
- [19] Hayashi K, Chowdhury RU, Chowdhury NU, et al. Thickness change and deformation of custom-made mouthguards after two years of use by Bangladeshi field hockey players[J]. Dent Traumatol. 2021; 37(4):617-622.
- [20] Knapik JJ, Marshall SW, Lee RB, et al. Mouthguards in Sport Activities: History, Physical Properties and Injury Prevention Effectiveness[J]. Sports Medicine. 2007, 37(2):117-144.
- [21] Watarai Y, Mizuhashi F, Koide K. Appropriate fabrication method for pressure-formed mouthguards using polyolefin sheets[J]. Dent Traumatol. 2022; 38(2):149-155.
- [22] Roberts HW. Sports mouthguard overview: Materials, fabrication techniques, existing standards, and future research needs[J]. Dent Traumatol. 2023; 39(2):101-108.
- [23] Green JI. The Role of Mouthguards in Preventing and Reducing Sports-related Trauma[J]. Prim Dent J. 2017; 6(2):27-34.

(下转 432 页)